

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AFYON-SANDIKLI HAVZASI
HİDROJEOLOJİ İNCELEMESİ**

Fatma AKSEVER

Danışman: Doç. Dr. Ayşen DAVRAZ

II. Danışman: Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL

**DOKTORA TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
TEMMUZ-2011**

TEZ ONAYI

Fatma AKSEVER tarafından hazırlanan “Afyon-Sandıklı Havzası Hidrojeoloji Havzası” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç.Dr. Ayşen DAVRAZ
SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

II. Danışman: Prof.Dr. Remzi KARAGÜZEL
İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri:
Prof.Dr. Fuzuli YAĞMURLU
SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Prof.Dr. Mustafa AFŞİN
ASÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Prof.Dr. Gültekin TARCAN
DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç.Dr. Ünsal GEMİCİ
DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç.Dr. Mesut ÇİMEN
SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç.Dr. M. Cengiz KAYACAN

Enstitü Müdürü V.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	2
2.1. Önceki Çalışmalar.....	2
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	7
3.1. İnceleme Alanının Tanıtılması.....	7
3.2. Çalışma Yöntemleri.....	12
3.2.1. Jeoloji.....	12
3.2.2. Hidroloji ve su potansiyeli.....	12
3.2.3. Hidrojeoloji.....	13
3.2.4. Hidrojeokimya.....	14
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	16
4.1. Stratigrafi.....	16
4.1.1. Paleozoyik.....	19
4.1.1.1. Kestel formasyonu (Pk).....	19
4.1.1.2. Hüdai formasyonu (Pzh).....	21
4.1.1.3. Çaltepe formasyonu (Pzç).....	22
4.1.1.4. Seydişehir formasyonu (Pzs).....	23
4.1.2. Mesozoyik.....	23
4.1.2.1. Karatepe formasyonu (P-TRk).....	24
4.1.2.2. Derealanı formasyonu (Jd).....	25
4.1.2.3. Akdağ formasyonu (Kra).....	26
4.1.3. Senozoyik.....	28
4.1.3.1. Bozoğlan formasyonu (Tb).....	28
4.1.4. Oligosen konglomera (To).....	29
4.1.5. Soğucak piroklastikleri (Tsp).....	30
4.1.6. Sandıklı lavları (Tsl).....	31
4.1.7. Hamamçay formasyonu (Tp).....	32
4.1.8. Alüvyon (Qal).....	34
4.1.9. Traverten (Qtr).....	34
4.2. Yapısal Jeoloji.....	34
4.2.1. Faylar.....	34
4.2.1.1. Normal faylar.....	38
4.2.2. Kıvrımlanma.....	40
4.2.3. Bölgenin depremselliği.....	40
4.3. Jeolojik Evrim.....	41
4.4. Ekonomik Jeoloji.....	43
4.5. Hidroloji.....	45
4.5.1. Yağış.....	45

4.5.1.1. Yağışların eklenik sapma grafikleri ile değerlendirilmesi.....	48
4.5.2. Sıcaklık.....	53
4.5.3. Buharlaşıma.....	53
4.5.4. Akış.....	65
4.5.5. Yeraltısuyu bilançosu.....	67
4.5.5.1. Beslenim.....	67
4.5.5.2. Boşalım.....	68
4.6. Hidrojeoloji.....	75
4.6.1. Su noktaları.....	75
4.6.1.1. Akarsular.....	75
4.6.1.2. Baraj ve göletler.....	81
4.6.1.3. Kaynaklar.....	87
4.6.1.4. Soğuk sondaj kuyuları ve sığ kuyular.....	92
4.6.1.5. Sıcak su sondaj kuyuları.....	97
4.6.2. Litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri.....	101
4.6.2.1. Yaygın verimli akifer ortam (VA).....	101
4.6.2.2. Yersel verimli akifer ortam (YVA).....	109
4.6.2.3. Yersel verimli karstik Akifer (YKA).....	109
4.6.2.4. Verimli sıcak su akiferi (VSA).....	110
4.6.2.5. Akitard ortam 1 (AKT-1).....	110
4.6.2.6. Akitard ortam 2 (AKT-2).....	112
4.6.2.7. Akifüj ortam 1 (AKF-1).....	112
4.6.2.8. Akifüj ortam 2 (AKF-2).....	112
4.6.3. Akifer parametreleri.....	113
4.6.4. Yeraltısuyu dinamiği.....	116
4.7. Hidrojeokimya.....	125
4.7.1. Yeraltısularının kalitesini belirten iyon özellikleri.....	128
4.7.1.1. Sıcaklık.....	128
4.7.1.2. Sertlik.....	130
4.7.1.3. Hidrojen iyon konsantrasyonu (pH).....	130
4.7.1.4. Özgül elektriksel iletkenlik (EC).....	131
4.7.1.5. Sodyum adsorbsiyon oranı.....	132
4.7.1.6. Sodyum iyon yüzdesi (% Na).....	132
4.7.2. Yeraltısularının kimyasal özellikleri.....	133
4.7.2.1. Sodyum (Na ⁺).....	136
4.7.2.2. Potasyum (K ⁺).....	137
4.7.2.3. Kalsiyum (Ca ⁺²).....	137
4.7.2.4. Magnezyum (Mg ⁺²).....	138
4.7.2.5. Alkalinite (HCO ₃ ⁻ ve CO ₃ ⁻²).....	139
4.7.2.6. Klorür (Cl ⁻).....	139
4.7.2.7. Sülfat (SO ₄ ⁻²).....	140
4.7.3. Suların kimyasal özelliklerine göre sınıflandırılması.....	140
4.7.3.1. Schoeller (1955'e) göre suların sınıflandırılması.....	141
4.7.3.2. Piper diyagramına göre suların sınıflaması.....	142
4.7.3.3. Durov diyagramına göre suların sınıflaması.....	143
4.7.3.4. Gibbs diyagramına göre suların sınıflaması.....	144
4.7.3.5. Schoeller yarı logaritmik diyagramına göre suların sınıflaması.....	145
4.7.4. Suların kullanım özellikleri.....	146

4.7.4.1. Suların içilebilirlik özellikleri.....	147
4.7.4.2.Suların sulamada kullanım özellikleri.....	154
4.7.5. Suların izotop jeokimyasal incelemesi.....	159
4.7.5.1. Sulardaki radyoaktivite.....	164
4.7.6. Çalışma alanında yeraltısuyu kirliliği.....	165
4.7.6.1. Yerleşim alanı kaynaklı kirlilik faktörleri.....	165
4.7.6.2. Çalışma alanında kirlilik faktörlerinin araştırılması.....	169
5.TARTIŞMA VE SONUÇ.....	209
6. KAYNAKLAR.....	215
EKLER.....	225
ÖZGEÇMİŞ.....	229

ÖZET

Doktora Tezi

AFYON-SANDIKLI HAVZASI HİDROJEOLJİ İNCELEMESİ

Fatma AKSEVER

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman :Doç.Dr. Ayşen DAVRAZ

Bu çalışmada yarı kapalı havza özelliğindeki Sandıklı havzasının jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır. İnceleme alanında Prekambriyen, Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler yer almaktadır. Bu birimlerden Kuvaterner alüvyon ve Pliyosen Hamamçay formasyonu en önemli soğuk su akiferini oluşturmaktadır. Bu iki birimin akifer parametreleri benzer değerlerde hesaplanmıştır. İnceleme alanında yeraltısuyu akımının genel olarak alüvyon ve Pliyosen birimlerin orta kesiminden havza dışına boşalan Kestel çayına doğru olduğu belirlenmiştir. Sandıklı havzasında en önemli sorun yoğun tarımsal faaliyetler sonucu aşırı yeraltısuyu çekimidir. Bu nedenle sürdürülebilir kullanım için su potansiyelinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Havzada emniyetli olarak kullanılacak yeraltısuyu miktarı $41,62 \times 10^6$ m³/yıl olarak belirlenmiştir.

Sandıklı havzasında hidrojeokimyasal değerlendirmeler için yeraltısuyunun kalite, köken ve kirlilik analizleri de yapılmıştır. Havzada yeraltısuyunun genel olarak Ca-Mg-HCO₃ hidrojeokimyasal fasiyeste olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanının orta kesimlerinde hazne kayacı kuvarsit ve kireçtaşı olan Hüdai sıcak ve mineralli su kaynağı ise Na-SO₄'lı sular sınıfındadır. Yeraltısularının kökensel değerlendirmelerinin yapılabilmesi amacıyla izotop içerikleri belirlenmiştir. Bölgede soğuk ve sıcak yeraltısularının izotop değerleri meteorik kökenli suları temsil etmektedir. Trityum içerikleri her iki akiferin derin doşalımlı sulardan da etkilendiğini göstermektedir. Yeraltısuyu akiferinin kirlilik araştırmalarının yapılması için de mikrobiyolojik, pestisit, azot türevleri ve ağır metal analizleri yapılmıştır. Havzada yeraltısuları için en önemli kirlletici etken tarımsal faaliyetlerdir. Bu durum, havza genelinde yeraltısularında nitrat içeriklerinin artmasına neden olmuştur. Ancak, yeraltısularında pestisit kirliliğine rastlanılmamıştır. Ağır metal içeriklerinde ise yeraltısularının içmesuyu standartlarını aşmadığı görülmektedir. Fakat, özellikle Al, Fe, Ba ve Cd elementlerinde kaya-su etkileşimi ve sıcak su akiferi ile etkileşim olan noktalarda yersel artışlar gözlenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Jeoloji, hidrojeoloji, Afyon-Sandıklı, su bilançosu, meteorik köken, su kimyası

2011, 231 sayfa

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATION OF AFYON-SANDIKLI BASIN

Fatma AKSEVER

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering**

Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Ayşen DAVRAZ

In this study, it has been investigated as detailed geological, hydrological, hydrogeological and hydrochemical features of Sandıklı basin which has semi-closed properties. The lithological units are respectively Paleozoic, Mesozoic, Cenozoic and Quaternary in age the research area, respectively. Quaternary alluvium and Pliocene Hamamçay formation have formed as cold water aquifer. Parameters of these aquifer units are the paralleling. Groundwater map of the research area shows that direction of groundwater flow is towards Kestel River which is in the middle of the alluvium and Hamamçay formation. In the basin it has been excessive drawing of groundwater owing to the agricultural activity. It is very important to determine of groundwater potential for sustainable using. It is calculated which can be safely groundwater reserve as $41,62 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$.

In order to find out the hydrogeochemical features, surface and groundwater samples taken from representative locations in the Sandıklı basin were analysed for the hydrochemical features. Groundwaters have determined the Ca-Mg-HCO₃ facies in basin and Hüdai hot water spring has Na-SO₄. Groundwaters have evaluated heavy isotope content. Cold and hot waters in the region has meteoric origin features. Tritium content is deep circulation for both quifers. Groundwater were analysed for the microbiological, pesticide, nutrients and heavy metal. Agricultural activity is most important pollution in the basin. Nitrate content is increased because of agricultural activity in the research area. However, pesticide pollution haven't determined in the basin. According to the heavy metal contents, groundwaters aren't exceeded standards of drink water. But, especially increased concentrations of Al, Fe, Ba and Cd elements have been rock-water interaction and hot spring aquifer

Key Words: Geology, hydrogeology, Afyon-Sandıklı, water budget, meteoric origin, water chemistry

2011, 231 pages

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında ve yürütülmesinde beni yönlendiren, tezimin başından sonuna kadar karşılaştığım her zorlukta, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Danışman Hocam Doç.Dr.Ayşen DAVRAZ'a teşekkürlerimi sunarım (Süleyman Demirel Üniversitesi).

Meslek hayatımın başından bugüne kadar tüm bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden daima yararlandığım ve tezimin yürütülmesini bilimsel katkılarıyla özenle destekleyen, II. Danışmanım Prof.Dr. Remzi KARAGÜZEL'e teşekkürlerimi sunarım (İstanbul Teknik Üniversitesi).

Tezimin jeoloji bölümü ile ilgili her konuda beni yönlendiren ve yardımcı olan hocalarım Prof.Dr. Fuzuli YAĞMURLU ve Yrd.Doç.Dr.Kamil YILMAZ' a çok teşekkür ederim (Süleyman Demirel Üniversitesi).

Çalışmalarım boyunca, değerli yardım ve katkılarıyla tezimde beni yönlendiren ve bilgilendiren hocam, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı Başkanı Doç.Dr. Mahmut MUTLUTÜRK'e çok teşekkür ederim (Süleyman Demirel Üniversitesi).

Çalışmamın yürütülmesinde tez arazim hakkındaki engin bilgilerini benimle paylaşan ve Devlet Su İşleri 18. Bölge Müdürlüğü imkanlarını bana sağlayan, Devlet Su İşleri 18. Bölge Müdürlüğü Yeraltısuları Şube Müdürü Dr.E.Birol ÖZGÜL'e çok teşekkür ederim.

Tez çalışmamın veri temininde, arazide gerçekleştirilen ölçüm ve örnekleme çalışmalarında bana daima yardımcı olan Devlet Su İşleri 18. Bölge Müdürlüğü Yeraltısuları Şubesi personeli Jeo. Müh. Ramazan KABAKCI'ya ve Ahmet Ali ÇANKAYA'ya, laboratuvar analizlerinin yapımında emeği olan Devlet Su İşleri 18. Bölge Müdürlüğü Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şubesi Müdürü Bayram UYSAL'a ve Kimyager Emine BAĞCI'ya önemli katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Tezimin arazi çalışmalarının yürütülebilmesi için bana lojistik destek sağlayan ve belediye imkanlarını kullanmama müsaade eden Sandıklı Belediye Başkanı İsmail ELİBOL'a ve Sandıklı belediyesi personeli teşekkür ederim.

1545-D-07 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Meslek hayatım boyunca beni destekleyen, karşılaştığım her zorluğu aşmamda bana sabırla yardımcı olan, tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan özellikle de manevi olarak beni destekleyen aileme, emeklerinden dolayı sevgi, saygı ve minnetlerimi sunarım.

Tezimin hazırlanmasında hep yanımda olan ve manevi desteğini hiç eksik etmeyen sevgili hayat arkadaşım Nedim AKSEVER'e sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Fatma AKSEVER
ISPARTA, 2011

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Afyon-Sandıklı havzası yerbulduru haritası (Aduybim, 2009).....	11
Şekil 4.1. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti.....	18
Şekil 4.2.A. Batı Anadolu'daki horst-graben sistemini gösteren basitleştirilmiş harita (Koçyiğit, 1984); B: Isparta açısı ve yakın çevresinin başlıca yapısal öğelerini gösteren yalınlaştırılmış harita (Koçyiğit 2000, Bozkurt 2001).....	36
Şekil 4.3.A. Sandıklı grabeninin neotektonik haritası (Cihan, 2000); B: Sandıklı grabenindeki genişleme yönlerini gösteren basitleştirilmiş harita.....	37
Şekil 4.4. İnceleme alanına ait deprensellik haritası (AİÇHB, 2006).....	41
Şekil 4.5. Afyon ili maden haritası (MTA, 2010).....	44
Şekil 4.6. Ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği (Şuhut DMİ).....	49
Şekil 4.7. Ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği (Dinar DMİ).....	49
Şekil 4.8. Ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği (Afyon DMİ).....	50
Şekil 4.9. Ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği (Sandıklı DMİ).....	50
Şekil 4.10. İnceleme alanındaki DMİ istasyonlarında ölçülen aylık ortalama yağışın deneştirilmesi.....	51
Şekil 4.11.Çalışma alanının eş yağış eğrileri (izohyet) haritası.....	52
Şekil 4.12. Thornthwaite yöntemi yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği (Şuhut)	57
Şekil 4.13. Thornthwaite yöntemi yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği (Dinar)	59
Şekil 4.14. Thornthwaite yöntemi yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği(Afyon)	61
Şekil 4.15. Thornthwaite yöntemi yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği (Şuhut-Dinar-Afyon).....	63
Şekil 4.16. Ovadaki 2007-2008 dönemi yeraltısuyu seviyesi eş değişim haritası.	71
Şekil 4.17. Ovadaki 2008-2009 dönemi yeraltısuyu seviyesi eş değişim haritası.	72
Şekil 4.18. Ovadaki 2009-2010 dönemi yeraltısuyu seviyesi eş değişim haritası.	73
Şekil 4.19. Örenler Barajı'nın görünümü ve teknik özellikleri (AİÇDR, 2008; DSİ Genel Müdürlüğü, 2009).....	83
Şekil 4.20. Sandıklı-Karacaören Göleti'nin görünümü ve teknik özellikleri (AİÇDR, 2008; DSİ Genel Müdürlüğü, 2009).....	84
Şekil 4.21. Sincanlı Serban Göleti'nin görünümü ve teknik özellikleri (AİÇDR, 2008; DSİ Genel Müdürlüğü, 2009).....	85

Şekil 4.22. Sincanlı Taşoluk Göleti'nin görünümü ve teknik özellikleri (AİÇDR, 2008; DSİ Genel Müdürlüğü, 2009).....	86
Şekil 4.23. Hüdai kaplıcasının hidrojeolojik kesiti (Afşin, 1991).....	91
Şekil 4.24. Hüdai ve civarında bulunan sıcak su sondaj kuyularına ait loglar.....	98
Şekil 4.25. Hüdai jeotermal alanının jeoloji haritası (Öngür, 1973; Karaman, 2005).....	100
Şekil 4.26. Havzada alüvyon ve hamamçay formasyonunun yayılımı.....	102
Şekil 4.27. Alamescit ve civarına ait panel diyagram.....	103
Şekil 4.28. Ballık ve civarına ait panel diyagram.....	104
Şekil 4.29. Emirhisar ve civarına ait panel diyagram.....	105
Şekil 4.30. Sorkun ve civarına ait panel diyagram.....	106
Şekil 4.31. Ürküt ve civarına ait panel diyagram.....	107
Şekil 4.32. Gökçealan ve civarına ait panel diyagram.....	108
Şekil 4.33. 2007-2008 yıllarına ait seviye değişim haritası.....	121
Şekil 4.34. 2008-2009 yıllarına ait seviye değişim haritası.....	122
Şekil 4.35. 2009-2010 yıllarına ait seviye değişim haritası.....	123
Şekil 4.36. Sandıklı ovası seviye değişiminin bölgesel dağılım haritası.....	124
Şekil 4.37. Suların sıcaklıklarına göre sınıflandırılması (Schoeller, 1962).....	129
Şekil 4.38. Piper diyagramı (Nisan 2010).....	143
Şekil 4.39. Durov diyagramı (Nisan 2010).....	144
Şekil 4.40. Gibbs diyagramı (Nisan 2010).....	145
Şekil 4.41. Schoeller yarı logaritmik diyagram (Nisan 2010).....	146
Şekil 4.42. Schoeller içilebilirlik diyagramı (Nisan 2010).....	152
Şekil 4.43. ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramına göre suların sınıflandırılması (Nisan 2010).....	156
Şekil 4.44. Wilcox diyagramı (Nisan 2010).....	158
Şekil 4.45. Çalışma alanındaki suların $\delta^{18}\text{O}$ - δD diyagramı (Ağustos+Nisan)...	161
Şekil 4.46.a. İnceleme alanındaki suların $\delta^{18}\text{O}$ - ^3H diyagramı (Ağustos+Nisan).	162
Şekil 4.46.b. İnceleme alanındaki suların Cl - ^3H diyagramı (Ağustos+Nisan)....	162
Şekil 4.47. Sandıklı havzasına ait tarım alanları dağılım haritası.....	170
Şekil 4.48. Amonyak (NH_3) konsantrasyonu dağılım harita (Ağustos-2009).....	173
Şekil 4.49. Nitrit (NO_2) konsantrasyonu dağılım haritası (Ağustos-2009).....	175

Şekil 4.50. Yeraltı ortamında azotun kaynağı ve hareket yolları (Freze, 2003)...	177
Şekil 4.51. Yeraltısuyu sistemlerinde azot girdileri ve dönüşümleri(Freze, 2003)	178
Şekil 4.52. Nitrat (NO ₃)konsantrasyonu dağılım haritası (Ağustos-2009)	180
Şekil 4.53. Nitrat (NO ₃)konsantrasyonu dağılım haritası (Ekim-2009).....	181
Şekil 4.54. Nitrat (NO ₃)konsantrasyonu dağılım haritası (Nisan-2010)	182
Şekil 4.55. Alüminyum (Al) konsantrasyonu dağılım haritası (Nisan-2010)	187
Şekil 4.56. Doğadaki arsenik döngüsü (Wang ve Mulligan, 2006).....	193
Şekil 4.57. Arsenik (As) konsantrasyonu dağılım haritası (Nisan-2010)	194
Şekil 4.58. Baryum (Ba) konsantrasyonu dağılım haritası (Nisan-2010)	195
Şekil 4.59. Kadmiyum (Cd) konsantrasyonu dağılım haritası (Nisan-2010)	196
Şekil 4.60. Krom (Cr) konsantrasyonu dağılım haritası (Nisan-2010)	197
Şekil 4.61. Bakır (Cu) konsantrasyonu dağılım haritası (Nisan-2010)	198
Şekil 4.62. Demir (Fe) konsantrasyonu dağılım haritası (Nisan-2010)	199
Şekil 4.63. Civa (Hg) konsantrasyonu dağılım haritası (Nisan-2010)	200
Şekil 4.64. Mangan (Mn) konsantrasyonu dağılım haritası (Nisan-2010)	201
Şekil 4.65. Nikel (Ni) konsantrasyonu dağılım haritası (Nisan-2010)	202
Şekil 4.66. Kurşun (Pb) konsantrasyonu dağılım haritası (Nisan-2010)	203
Şekil 4.67. Selenyum (Se) konsantrasyonu dağılım haritası (Nisan-2010)	204
Şekil 4.68. Antimon (Sb) konsantrasyonu dağılım haritası (Nisan-2010)	205
Şekil 4.69. Çinko (Zn) konsantrasyonu dağılım haritası (Nisan-2010)	206

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Adres kayıt sistemine göre 2008 yılı Afyonkarahisar (Afyon il özel idaresi, 2010).....	7
Çizelge 3.2. İnceleme alanındaki köy ve belediyelerin dağılımı (Afyon il özel idaresi, 2010).....	8
Çizelge 3.3. Sandıklı ilçesi kültür arazi dağılımı (AİÇDR, 2008).....	9
Çizelge 4.1. İnceleme alanında yayılım gösteren litolojik birimler ve yaşları.....	17
Çizelge 4.2. Afyon-Bolvadin'e ait ulusal zayıf hareket istasyonu verileri (Deprem Dairesi Başkanlığı, 2010).....	40
Çizelge 4.3. Bölgede geçmişte yaşanmış depremler(Afyon İl Özelİdaresi,2010)	41
Çizelge 4.4. İnceleme alanındaki maden kanunu'na tabi olan doğal malzemeler	43
Çizelge 4.5. Afyon iline bağlı bazı devlet meteoroloji istasyonlarının teknik özellikleri (http://www.meteoroloji.gov.tr/2006/kurumsal/kurumsalistasyonlar)	46
Çizelge 4.6. Afyon-Sandıklı havzası dolayındaki devlet meteoroloji istasyonlarına ait yıllık ortalama yağış verileri (mm).....	47
Çizelge 4.7. Şuhut Meteoroloji İstasyonu için hazırlanan thornthwaite buharlaşma-terleme bilançosu.....	56
Çizelge 4.8. Dinar Meteoroloji İstasyonu için hazırlanan thornthwaite buharlaşma-terleme bilançosu.....	58
Çizelge 4.9. Afyon Meteoroloji İstasyonu için hazırlanan thornthwaite buharlaşma-terleme bilançosu.....	60
Çizelge 4.10. Şuhut-Dinar-Afyon meteoroloji istasyonları için hazırlanan thornthwaite buharlaşma-terleme bilançosu.....	62
Çizelge 4.11. Gerçek buharlaşma miktarları.....	64
Çizelge 4.12. Kestel çayı su temin tablosu (DSİ, 2010).....	66
Çizelge 4.13. Havzada yer alan baraj ve göletlerin sulama verileri (DSİ, 2007)...	68
Çizelge 4.14. Sandıklı (Afyon) havzası su bilançosu.....	69
Çizelge 4.15. Ovada seviye değişimine göre dinamik su rezervi.....	74
Çizelge 4.16. Karadirek çayının özellikleri (AİÇDR, 2008).....	76
Çizelge 4.17. Karadirek çayı akım rasat bilgileri (DSİ, 2010).....	77
Çizelge 4.18. Taşkesik deresinin özellikleri (AİÇDR, 2008).....	78

Çizelge 4.19. Taşkesik deresi debi ölçümleri ((DSİ, 1994).).....	78
Çizelge 4.20. Kestel çayının özellikleri (AİÇDR, 2008).....	79
Çizelge 4.21. Kestel çayı akım rasat bilgileri (DSİ, 2010).....	79
Çizelge 4.22. Havzada alüvyon üzerinde açılmış olan sondaj kuyularına ait teknik veriler.....	93
Çizelge 4.23. Havzada açılmış soğuk su sondaj kuyularına ait teknik veriler.....	95
Çizelge 4.24. Sandıklı Hüdaihamamı jeotermal sahası içerisinde açılmış sıcak su sondaj kuyularının teknik özellikleri (AİÇDR, 2008; Sandıklı Bel., 2010)	97
Çizelge 4.25. Ovada kireçtaşını kesen kuyulara ait debi değerleri.....	110
Çizelge 4.26. Sandıklı havzasındaki akifer parametreleri (K,T,S).....	114
Çizelge 4.27. İnceleme alanına ait sondaj kuyularında mevsimlik olarak yapılmış yeraltısuyu statik seviye takibi (2007-2010).....	117
Çizelge 4.28. Sandıklı (Afyon) havzası 2007 yılı yeraltısuyu statik seviye ölçümleri	118
Çizelge 4.29. Sandıklı (Afyon) havzası 2008 yılı yeraltısuyu statik seviye ölçümleri	119
Çizelge 4.30. Sandıklı (Afyon) havzası 2009 yılı yeraltısuyu statik seviye ölçümleri	120
Çizelge 4.31. Su örneklerine ait analizler ve özellikleri.....	125
Çizelge 4.32. Sandıklı havzasında alınan su numunelerinin institute ölçüm sonuçları (Ağustos 2009).....	126
Çizelge 4.33. Sandıklı havzasında alınan su numunelerinin institute ölçüm sonuçları (Nisan 2010).....	127
Çizelge 4.34. Suların sıcaklığa göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991).....	128
Çizelge 4.35. Suların sertlik derecesine göre sınıflandırılması (Erguvanlı ve Yüzer, 1987).....	130
Çizelge 4.36. Suların pH'a göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991).....	131
Çizelge 4.37. SAR değerine göre sularının sınıflanması.....	132
Çizelge 4.38. Sandıklı havzasında suların hidrojeokimyasal özellikleri (Ağustos 2009).....	134
Çizelge 4.39. Sandıklı havzasında suların hidrojeokimyasal özellikleri (Nisan 2010).....	135

Çizelge 4.40. Suların klorür derişimine göre sınıflandırılması.....	141
Çizelge 4.41. Suların sülfat derişimine göre sınıflandırılması.....	142
Çizelge 4.42. Suların karbonat+bikarbonat derişimine göre sınıflandırılması.....	142
Çizelge 4.43. Türk İçme Suyu Standartı (TS 266)' na göre suların sınıflandırılması.....	147
Çizelge 4.44. Dünya sağlık örgütü içme suyu standartları (WHO).....	150
Çizelge 4.45. Mikrobiyolojik analiz sonuçları (Nisan 2010).....	154
Çizelge 4.46. Wilcox diyagramı su sınıflama kriterleri (Şahinci, 1991).....	157
Çizelge 4.47. İzotop hidrolojisinde kullanılan bazı elementlerin kararlı izotopu	159
Çizelge 4.48. Suyun izotopları ve bazı özellikleri (Şahinci, 1991).....	160
Çizelge 4.49. Çalışma alanındaki örneklere ait izotop sonuçları (Ağustos 2009)	163
Çizelge 4.50. Çalışma alanındaki örneklere ait izotop sonuçları (Nisan 2010)...	163
Çizelge 4.51. Çalışma alanındaki örneklere ait alfa ve beta sonuçları	165
Çizelge 4.52. Bölgedeki resmi ve özel sanayi işletmelerinin ilçelere göre sektörel dağılımı (AİÇDR, 2008).....	167
Çizelge 4.53. Bölgedeki özel sanayi işletmelerinin fiili üretim dağılımı (AİÇDR, 2008).....	168
Çizelge 4.54. Ağustos 2009 azot bileşiklerine ait analiz sonuçları.....	171
Çizelge 4.55. Nisan 2010 azot bileşiklerine ait analiz sonuçları.....	172
Çizelge 4.56. Ağustos 2009 - Ekim 2009 – Nisan 2010 nitrat analiz sonuçları...	179
Çizelge 4.57. Nisan-2010 ve Ekim-2010 dönemlerine ait yerinde ölçüm ve pestisit analiz sonuçları.....	184
Çizelge 4.58. Ağustos-2009 dönemine ait ağır metal analiz değerleri.....	207
Çizelge 4.59. Nisan-2010 dönemine ait ağır metal analiz değerleri.....	208

1.GİRİŞ

Su kaynaklarının optimum kullanımının öneminin anlaşıldığı günümüzde ülkemizin başlıca kullanılabilir su kaynakları olan yeraltısularından en iyi şekilde faydalanmak ve sürdürülebilirliğini sağlamak, sağlıklı hidrojeoloji çalışmaları ile mümkün olacaktır. Çalışma alanı olarak seçilen Sandıklı havzası yeraltısuyu potansiyeli açısından ve aşırı kullanıma bağlı sıkıntıların yaşanmaya başlandığı bir bölgedir. Sandıklı Kuruçay ve Küçük Sincanlı ovası olmak üzere iki ovanın birleşiminden oluşan Sandıklı havzası, Ege bölgesinin İç Batı Anadolu bölümünde yer alan ve Büyük Menderes havzasına açılan yarı kapalı bir havzadır.

Ayrıntılı hidrojeoloji çalışmalarının yapılmadığı araştırma alanında halkın geçim kaynağının tarım olması yeraltısuyuna yönelik araştırmaların yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bölgede yeraltısuyu akiferinden içmesuyu amacı ile de yararlanılması kalite ve kirlilik çalışmalarının önemini artırmaktadır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Afyon-Sandıklı Havzası hidrojeoloji incelemesi kapsamında, havzanın jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin ayrıntılı olarak ele alınıp, akiferlerin tanımlanması ve hidrolik parametrelerinin belirlenmesi, havzada yeraltısuyu dinamiği ve komşu havzalar ile hidrolik ilişkinin tartışılması, yeraltısuyu potansiyeli, kalitesi ve kirliliğine yönelik araştırmaların tamamının değerlendirilmesi ile havzada optimum su kullanım koşullarının tespiti ve karşılaşılan sorunlarla ilgili çözüm önerilerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Önceki Çalışmalar

Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeolojisi birçok yerli ve yabancı araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Ancak, mühendislik jeolojisi ve hidrojeolojisi ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Parejas (1942); Araştırmacı Sandıklı, Dinar, Burdur, Isparta, Eğirdir civarının 1/100000 ölçekli jeoloji haritasını yapmıştır. Alanın, Alp Jeosenklinali, Torid çukurunun kuzey sahilinde olabileceğini ve bölgenin stratigrafisinin Paleozoyik, Verrukana, Mesozoyik, Tersiyer (Eosen-Oligosen) ve Neojen'den meydana geldiğini savunmuştur.

Ronner (1962); Araştırmacı Sandıklı ovasını tektonik ve volkanik açıdan değerlendirmiştir. Sandıklı ovasının (Orta Anadolu) bir Neojen havzası çöküntüsü olup, iki kademedan oluştuğunu ve alttaki kademenin Pliyosen-Kuvaterner'den, üstteki kademenin ise Miyosen'den meydana geldiğini savunmuştur. Ayrıca, Kuvaterner süre içinde Hüdai hamamı sıcak su kaynaklarının oluştuğunu ve bunların çıkış ısı ve radyoaktivite tenörü bakımından orta termal ve post volkanik bir safhaya mensup olduğunu ortaya koymuştur.

Öngür (1973); Araştırmacı, bu çalışmada Sandıklı yerleşim merkezi ve civarının jeolojisini 1/25 000 ölçekli olarak çalışmıştır. Ayrıca, bölgenin jeolojisine ek olarak jeomorfolojik ve tektonik özelliklere ayrıntılı olarak yer vermiştir. Sonuç olarak da hidrojeolojik ve jeotermal yönden jeofizik çalışmalarının yapılmasının gerektiğini vurgulamıştır.

Tuzcu (1974); Araştırmacı 216 km²'lik alana sahip olan Küçük Sincanlı ovasını hidrojeolojik açıdan değerlendirmiş ve ovanın hidrojeolojik etüt raporunu hazırlamıştır. Rapora göre ovada yıllık emniyetli su rezervi $2,5 \times 10^6$ m³ olarak belirlenmiş ve yeraltısuyu kalitesinin C₂S₁ sulama suyu sınıfını temsil ettiği belirtilmiştir.

Çakmakoglu (1986); Araştırmacı Çivril-Sandıklı-Dinar arasındaki bölgenin jeolojisi ile yapısal-jeolojik evrimini araştırmıştır. Araştırmacı, Menderes Masifi örtü şist ve karbonatlarına karşılık gelen, Paleozoyik'ten Eosen'e kadar değişik kaya türleri içeren Burgaz Grubu ile, Batı Toroslar kapsamında, Paleozoyik'ten LütESIYEN'e kadar çeşitli kaya türlerinin görüldüğü Akdağ Grubunun, alışma alanında birbiri ile yakın ilişki içinde olduğunu belirtmiştir. Arada Ortadağ-Belence Grubu'nun olduğunu ve bu gruba ait kaya birimlerinin diğer iki grubun birbirleriyle ilişkilerini (bir kısmıyla) tektonik olarak gizlediğini savunmuştur.

Afşin (1991); Araştırmacı, Sandıklı Kuruçay ovası ve Hüdai kaplıcasının ayrıntılı olarak hidrojeoloji incelemesini yapmıştır. 450 km²'lik bir alana yayılan inceleme sahasının temelini, Paleozoyik yaşlı epimetamorfİtlerin oluşturduğunu, bunların üzerine gelen birimlerin Mesozoyik ve Senozoyik boyunca Kuvaterner'e kadar yer yer kesikli olarak devam ettiğini savunmuştur. İnceleme alanına düşen yıllık ortalama yağış miktarının 474,93 mm, gerçek buharlaşma-terlemenin 380,74 mm olduğunu, serbest ve basınçlı akiferlerde yeraltısu akım yönünün GD'dan KB'ya doğru olduğunu belirlemiştir. Hüdai kaplıcası sıcak ve mineralli su kaynaklarının K-G ve D-B doğrultusunda uzanan fayların birbirini kestiği noktalarda oluştuğunu, sıcaklıklarının 46,5-70 °C, debilerinin ise 87,0-91,5 l/s arasında değiştiğini belirlemiştir.

Afşin (1996); Araştırmacı Sandıklı yerleşim merkezinde yeralan Hüdai kaplıcasını detaylı olarak incelemiştir. Hüdai sıcak ve mineralli su kaynaklarının K-G ve D-B yönünde uzanan fayların keşişme noktalarında açığa çıktığını ve kaynakların sıcaklık, pH, toplam debi ve toplam çözünmüş madde miktarları sırasıyla 62°C-68°C, 6.2-7.5, 87-91.5 l/s ve 1360-1750 mg/l arasında değiştiğini belirlemiştir. Ayrıca, kimyasal bileşimleri nedeniyle tedavi edici nitelikte olan kaynakların AIH 'ne göre Ca, HCO₃, SO₄, SiO₂ 'li radyoaktif sıcak ve mineralli sular olduğunu söylemiş ve kaynakların hazne kaya sıcaklığını farklı jeotermometreler kullanarak 100 °C - 250 °C arasında değiştiğini belirlemiştir.

Özpınar vd., (1999); Araştırmacılar, bu çalışmada Uşak kuzeyi ve Sandıklı civarındaki volkanitlerin yayılım alanlarını belirlemiş ve halk dilinde "Küfeki Taşı" olarak adlandırılan ve yapı taşı olarak kullanılan aglomera ve tüflerin jeolojik, petrografik ve petrokimyasal özelliklerini saptayarak bunların farklı endüstri kollarında tras olarak kullanılıp kullanılmayacağını araştırmışlardır.

Koçyiğit vd., (2000); Araştırmacılar, Batı Anadolu horst-graben sisteminin en doğu kesiminde yer alan Sandıklı grabeninin neotektonik özelliklerini ve depremselliğini konu almıştır. Sandıklı grabeninin, verev atımlı normal faylarla (Akın, Kemer kayatepe, Ballık fayları) Miyosen sonunda gelişmeye başlamış, Geç Pliyosen'de başlayan ve Kuvaterner'de de devam eden faylanmalarla (Gökçealan, Sandıklı, Maymunkayası ve Hüdaihamamı fayları) bugünkü geometrisini kazandığını ve bölgedeki fayların jeolojik olarak diri olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, Sandıklı grabeninin de deprem riski taşıdığını ve graben kenarı ile içindeki her tür yapılaşmada depremselliğin dikkate alınması gerektiğini savunmuşlardır.

Koçyiğit vd., (2001); Araştırmacılar, Göller Bölgesi horst-graben sistemi içinde yer alan Sandıklı ve Dombayova grabenlerini incelemişlerdir. Her iki grabenin de batıda Akdağ Horstu ile Dinar grabeninden, doğuda ise Kükürdağı Horstu ile Çölovası grabeninden ayrıldığını savunmuşlardır. Sandıklı grabeni 3-9 km genişlikte, 34 km uzunlukta ve KKD- gidişli bir çöküntü alanıdır. Benzer şekilde Dombayova grabeni de 1-5.5 km genişlikte 30 km uzunlukta ve KKD-gidişli diğer bir çöküntü alanıdır. Birbirlerinden Ovataştepe horstu ile ayrılan her iki graben de gelişimlerini aktif olarak sürdürmektedir. Sandıklı ve Dombayova grabenlerini sınırlayan fayların küçük ve orta büyüklükte deprem üretme potansiyeline sahip olması nedeniyle ve Sandıklı ve Dombayova grabenleri içindeki yerleşkelerin büyük çoğunluğu, graben kenar faylarının düşen tavan blokları (deprem anında en çok hasar ve can kaybının beklendiği alan) ile sınırlanmış potansiyeli olan zemin üzerinde kurulu olması nedeniyle yerleşim birimlerinde sık aralıklı ve çok katlı yapılaşmaya gidilmemesini önermişlerdir.

Özpinar vd., (2002); Araştırmacılar Sandıklı civarındaki volkanitlerin yayılımını belirlemek amacıyla öncelikle, 250 km² lik alanda 1/25 000 ölçekli jeolojik haritasını yapmış, daha sonra bölgedeki tüflerin teknolojik özelliklerinin saptanmasına yönelik olmak üzere laboratuvar çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Tüf örneklerinin mineralojik bileşimleri, tüflerin yapı taşı olarak kullanılabilirliği, volkaniklerin jeokimyası, tüf ve tüfitlerin tras olarak kullanılabilirliği ve portland çimentosuna katılacak katkı miktarının saptanması gibi konulara yönelik olarak çok sayıda deney ve testler gerçekleştirmişlerdir. Deney verilerine göre, ekonomik değere sahip volkanitlerin değerlendirilerek bölge ekonomisine çok yönlü katkılar sağlayacağı sonucunu elde etmişlerdir.

Gürsu vd., (2003); Araştırmacılar, Orta Torosların batı kesiminde, Isparta Dirseğinde, Sandıklı yöresinde, Sultandağlarında ve Afyon kuzeyindeki alanlarda, farklı tektonik dilimlerde Erken Paleozoyik ve öncesi yaşlı birimleri incelemişlerdir. Birimlerin bir bölümü Geyikdağı Birliği içerisinde değerlendirilen Karacahisar Kubbesindeki (Eğirdir) iki, Sultandağları kesimindeki iki ve Sandıklı bölgesi ile Afyon kuzeyindeki iki istif karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Temel kaya olan Sarıççek formasyonunun Sarıççek üyesi ve Kocaosman üyesinden oluştuğunu, bu iki üye arasında ise Çaltepe formasyonunun yer aldığı ve Seydişehir formasyonu ile de devam ettiğini öne sürmüşlerdir. Bu birimler Mesozoyik istifleri tarafından örtülmektedir. İstifin temelini Bozburun şistlerinin oluşturduğunu, üzerinde ise sırasıyla Sandıklı Temel Kompleksi, Gögebakan formasyonu, Hüdei formasyonunun Celiloğlu üyesi ile Örenkaya Kuvarsit üyesi ve Çaltepe formasyonu ile devam ettiğini savunmuşlardır.

Güngör vd., (2004); Bu çalışmada araştırmacılar, Sandıklı (Afyon) bölgesinde bulunan Erken Kambriyen yaşlı Kocayayla Grubu'nun deformasyon özelliklerini tanımlanmışlardır. Kocayayla Grubu 2500 m kalınlığa ulaşan Erken Kambriyen yaşlı bir istif ile temsil edilmektedir. Bu istifin en altında, Erken Kambriyeni simgeleyen iz fosilleri içeren fillit arakatkılı kuvars kumtaşlarından oluşan Celiloğlu birimi bulunmaktadır. Gögebakan birimi, çört mercekleri, mafik volkanit ve kanal dolgusu çakıltaşı arakatkıları içeren metapelitler ve metapsammitlerden oluşur ve uyumlu bir

dokanak boyunca Celiloğlu birimi'nin üstünde yer alır. Göğebakan birimi, tortul arakatkılar içeren riyolitlerden oluşan Kestel Çayı volkanitleri ile yanal ve düşey yönde geçişlidir. Taşoluk biriminin fillit arakatkıları içeren sarı renkli kumtaşlarından oluşup uyumlu bir dokanak boyunca Kestel Çayı volkanitleri'nin üstünde Kocayayla Grubu'nun en üst birimini oluşturduğunu savunmuşlardır.

Gürsu vd., (2005); Araştırmacılar, Orta ve Batı Torosların birleştiği bölgede, Sandıklı ilçesi ile Karadirek, Başağaç, Akharım, Taşoluk kasabaları civarında yer alan çalışma alanında yüzeylenen Geç Neoproterozoyik-Erken Paleozoyik yaşlı örtü birimleri kayaların stratigrafisine, kaya türü özelliklerine ve jeolojik oluşumuna ışık tutmaktadır. Bölgede Geç Neoproterozoyik yaşlı Sandıklı Temel Kompleksi (STK), Erken Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı örtü birimleri ayrılmıştır. Araştırmacılar Sandıklı Temel Kompleksinin, alttan üste doğru Güvercinoluk formasyonu ve Kestel Çayı Porfiroid Birliği'nden, Erken Paleozoyik yaşlı birimler ise alttan üste doğru, Göğebakan, Hüdai, Çaltepe ve Seydişehir formasyonlarından oluştuğu ve Mesozoyik yaşlı örtü birimleri ile uyumsuz olarak üzerlendiğini savunmuşlardır. Tüm bu saptamalar doğrultusunda, Toroslar'ın temelini oluşturan Geç Neoproterozoyik - Erken Paleozoyik birimlerinin Afrika kuzey kenarı ve güney Avrupa'da yer alan eş yaşlı birimlerle ortak bir jeolojik evrim yaşamış olduklarını yorumlamışlardır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. İnceleme Alanının Tanıtılması

İnceleme alanı, Ege bölgesinin İç Batı Anadolu bölümünde ve 29° 50' - 30° 30' Doğu meridyeni ile 38° 15' - 38° 45' kuzey paralelleri arasında yer almaktadır. Afyon L24 (a1, a2, a3, a4, b1, b2, b3, b4, d1, d2) ve Afyon K24 (c1, c2, c3, c4, d1, d2, d3, d4) paftalarını kapsayan Sandıklı havzası, yaklaşık olarak 1556 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 3.1.).

Havza içerisinde yer alan en büyük yerleşim merkezi Afyonkarahisar iline bağlı Sandıklı ilçesidir. İlçenin nüfusu 2008 genel nüfus sayımına göre 61,422'dir (Çizelge 3.1.). Bunun 33,371'i ilçe merkezinde, 28,051'i köy ve beldelerde yaşamaktadır. Yüzölçümü ise 1036 km²'dir. Sandıklı ilçesine bağlı toplam 46 köy, 11 belediye, Kızılören'e bağlı 4 köy, 1 belediye bulunmaktadır (AİÇDR, 2008; Afyon İl Özel İdaresi, 2010; Çizelge 3.2.). Genel olarak havzada bulunan yerleşim merkezleri, Alacami, Yeniköy, Alagöz, Odaköy, Dodurga, Susuz, Kızıkköyü, Ekinhisar, Yolkonak (Resil), Ürküt, Karasandıklı, Arızlar, Daylık, Kınık, Karadirek (Kılandıras), Başağaç, Çambeyli (Güdübez), Çukurca, Çiğiltepe (Hacan), Nuhköy, Taşoluk (Mahmarı), Akharım, Serban, Karacaören, Başkuyucak, Kuyucak, Koçhisar, Hüdaihamamı, Reşadiye, Yayman, Koçgazi, Beştepe (Mırtaz), Kırka, Üfleciler, Davulköy, Emirhisar, Kızılcıca, Sorkun, Saltık, Nasuhoğlu, Yumruca, Dutağacı, Bektaş, Yeniçay, Selçik, Kargın, Akın, Doğansu (Kusura), Gökçealan (Mingile), Örenkaya (Mıcıl), Celiloğlu, Çomoğlu, Alamescit, Menteş, Ekinova, Kızılören (Kızılviran), Gülyazı (Kartı) ve Ballık'tır.

Çizelge 3.1. Adres Kayıt Sistemine Göre 2008 Yılı Afyonkarahisar İl ve İlçe Nüfusları (Afyon İl Özel İdaresi, 2010)

	İlçe Merkezleri			Belde / Köyler			Toplam		
	Toplam	Erkek	Kadın	Toplam	Erkek	Kadın	Toplam	Erkek	Kadın
Kızılören	2.201	1.081	1.120	1.159	538	621	3.360	1.619	1.741
Sandıklı	33.371	16.409	16.962	28.051	13.581	14.470	61.422	29.990	31.432
TOPLAM	35.572	17.490	18.082	29.210	14.119	172.173	62.043	31.609	33.173

Çizelge 3.2. İnceleme alanındaki köy ve belediyelerin dağılımı
(Afyon İl Özel İdaresi, 2010)

İLÇELER	KURULUŞ YILI	BELEDİYE SAYISI	KÖY SAYISI	MAHALLE SAYISI	YÜZÖLÇÜMÜ (km ²)
KIZILÖREN	1.990	1	4	2	139
SANDIKLI	1.924	11	46	37	1.278
TOPLAM	-	12	50	39	1.417

Sandıklı ilçesi doğuda Denizli ili, Hocalar ilçesi, güneyde Dinar ve Haydarlı ilçeleri batıda, Şuhut ilçesi, kuzeyde ise Sincanlı ve Afyon'un merkez ilçeleri ile çevrilmiştir (Şekil 3.1.). Ayrıca, Afyon'u Isparta, Antalya, Denizli ve Ankara'ya bağlayan karayolu ve Ankara-İzmir-İstanbul demiryolu üzerinde olması nedeniyle de ulaşım bakımından oldukça önemlidir.

Sandıklı'nın dört bir yanı dağlarla çevrilidir. Kuzeyinde Ahır dağları 1981 m yüksekliğe sahip olup, Sincanlı ve Sandıklı yerleşim merkezleri arasında uzanmaktadır. Sandıklı'nın batısında yeralan ve Hocalar, Banaz ve Sivaslı yerleşim merkezleri arasında uzanan Burgaz dağları ise 1754 m yüksekliğindedir. Sandıklı, Kızılören, Dinar ve Çivril yerleşim merkezleri arasında bulunan ve Sandıklı'nın güneyinde yeralan Akdağ 2449 m ve 2345 m yükseklikte iki tepeden oluşmaktadır. Sandıklı'nın doğu sınırını kaplayan Kumalar dağları (Sandıklı dağları), kuzeyden güneye dağ silsileleri şeklinde uzanmaktadır. Kumalar dağının en yüksek tepesi 2250 m'yi bulan Göktepe (Kilimatan tepe)'dir (Şekil 3.1.).

Sandıklı yerleşim merkezi, İç Batı Anadolu eşiğinde olması nedeniyle bölgede sıcak ve oldukça kurak yazlar, soğuk kışlar ile dikkat çeken bir iklim göze çarpmaktadır. Bu iklimi oluşturan neden, Sandıklı yerleşim merkezinin Ege ve Akdeniz bölgelerine olan uzaklığı ile karasal iklime sahip olmasıdır.

Sandıklı yerleşim merkezi ve çevresindeki ekonomi çoğunlukla tarıma dayalıdır. Sandıklı ilçesi 63000 hektar tarıma elverişli arazi genişliği ile Afyon ilinde 4. sırada yer almaktadır (AİR, 1996; Çizelge 3.3.). Buğday, arpa, nohut, şekerpancarı, patates, haşhaş ve vişne üretimi Türkiye ortalamasında ilk sıralamaya girmekte ve aynı zamanda yurtdışına da ihraç edilmektedir (Çizelge 3.3.). Sanayi bakımından da

oldukça gelişmiş olan yerleşim merkezleri özellikle yeni sanayi tesislerinde tarımsal makinelerin bazılarını üretecek kapasiteye ulaşmışlardır.

Çizelge 3.3. Sandıklı ilçesi kültür arazi dağılımı (AİÇDR, 2008)

İLÇE	SANDIKLI (hektar)
Kültür arazisi	63000
Nadas arazisi+halk arazisi	6,887
Ekilen arazi+devlet arazisi	58,600
Sebze arazisi	385,589
Meyve arazisi	243,000
Bağ arazisi	155,000
Kullanılmayan arazi	5,327
Orman alanı	25754,500

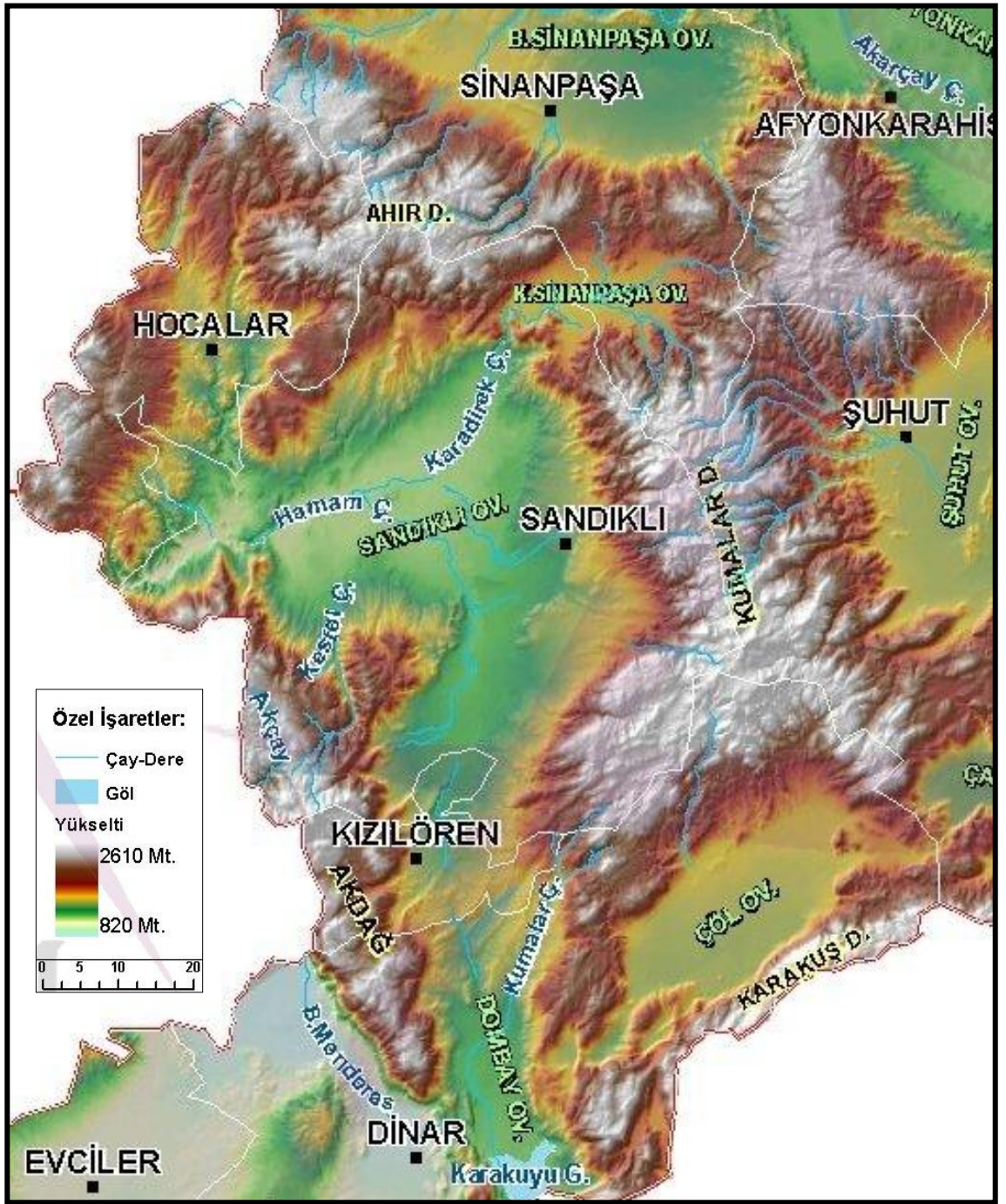
Sandıklı havzası sınırları içerisinde Sandıklı ovası ve Küçük Sincanlı ovası olmak üzere iki ova yer almaktadır. Bu çalışma da ovalar tek bir havza kapsamında incelenmiştir.

Sandıklı ovası

Farklı morfolojik yapıya sahip olan ova, deniz seviyesinden batıda 950 m, doğuda 1100-1200 m yükseklikte olup hafif bir eğime sahiptir. Ovanın komşu ovaları kuzeyde Küçük Sincanlı ovası güneyde ise Dombay ovasıdır. Etrafı dağlarla çevrilmiş olan ova, doğuda Kumalar Dağı silsilesi (2447 m), güneyde karstik Akkuyu Dağı, güneybatıda Akdağ silsilesi (2449 m) ve kuzeybatıda Kirseli Dağı ile sınırlanmıştır. Sandıklı ovasının ortasından geçen Kestel çayı ile Ovanın drenajı gerçekleşmektedir. Kestel çayı ovada Hamamçayı ve Beylik deresi ile birleşip, Büyük Menderes nehrinin sularına karışmakta ve Ege denizine dökülmektedir. Hamamçayının Büyük Menderes Nehri ile birleşmesi Birleştirme Boğazı vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Sandıklı ovası Başağaç Boğazı ile kuzeyinde bulunan Küçük Sincanlı ovası ile birleşmektedir. Şekillenmesi günümüzden yaklaşık 30 milyon yıl öncesine dayanan Sandıklı ovası tektonik kökenli bir ovadır.

Küçük Sincanlı ovası

216 km²'lik drenaj alanı ve 40 km²'lik ova alanı ile Küçük Sincanlı ovası, Afyon-Sincanlı karayolu ile kuzeyde Sincanlı, güneyde Sandıklı ilçelerine bağlanmaktadır. Ortalama yükseltisi 1190 m olan çöküntü ovasının etrafı dağlarla çevrilidir. Büyük Sincanlı ve Sandıklı ovaları arasında bulunan Küçük Sincanlı Ovası, küçük bir çöküntü ovasıdır. Küçük Sincanlı Ovası, Başağaç Boğazı ile Sandıklı Ovası'na, Damlalı Boğazı ile Büyük Sincanlı Ovasına açılmaktadır. Drenaj alanındaki kaynaklarla beslenen Çayıçi, Taşoluk, Nuhköy ve Tatarcık derelerinin birleşmesinden meydana gelen Karadirek çayı Küçük Sincanlı ovasının önemli yüzeysel akışıdır ve Sandıklı ovasına dökülmektedir. (Tuzcu, 1974; AIÇDR, 2008).



Şekil 3.1. Afyon-Sandıklı havzası yerbulduru haritası (Aduybim, 2009)

3.2. Çalışma Yöntemleri

Doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışmada belirtilen amaçlara ulaşmak için dört ana bölümde incelemeler yapılmıştır. Her bir araştırma alanı için gerçekleştirilen çalışmalar ve izlenen yöntemler aşağıda sıralanmıştır. Bu çalışmada kullanılan haritaların çizimi için CorelDRAW X3 yazılımı kullanılmıştır.

3.2.1. Jeoloji

Hidrojeoloji amaçlı yapılan çalışmalarda araştırma alanının genel jeolojik özelliklerinin ayrıntılı olarak tanımlaması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, araştırma alanının 1/50 000 ölçekli jeoloji haritası önceki çalışmalar ve arazi gözlemleri ile hazırlanmıştır. Ayrıca, yeraltı jeolojisine açıklık getirmek üzere sistematik jeolojik kesitler ve panel diyagramlar hazırlanmıştır. Bu harita, kesit ve diyagramlardan yararlanarak bölgedeki akifer özelliği taşıyan birimler ve bunların geometrik konumları belirlenmiştir.

3.2.2. Hidroloji ve su potansiyeli

Çalışmanın bu bölümünde, inceleme alanı ve komşu bölgelerde bulunan Devlet Meteoroloji İstasyonlarının uzun yıllara ait ölçüm verileri, DSİ ve EİEİ akım rasat istasyonları verilerinden yararlanılarak değerlendirilmiştir.

Yağış: Afyon-Sandıklı havzasında ve civarında bulunan Devlet Meteoroloji İstasyonları Sandıklı, Kızılören, Afyon, Dinar, Şuhut Hocalar, Gümüşsu, Sincanlı ve Haydarlı olmak üzere toplam 9 adettir. Bölgeye düşen ortalama yağışın tayini için Eş Yağış (İzohyet) Eğrileri yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde Afyon-Sandıklı havzası ve yakın çevresinde yer alan Devlet Meteoroloji İstasyonlarına ait uzun dönem yıllık toplam yağış verileri T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden temin edilip değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler Surfer 8 yazılımı ile haritalanarak yıllık ortalama yağış miktarı hesaplanmıştır.

Gerçek Buharlaşma: Afyon-Sandıklı havzasında buharlaşma hesabı yapmak için öncelikle çeşitli yöntemlerle (Thorntwaite ve Turc) potansiyel ve gerçek buharlaşma değerleri hesaplanmıştır. Gerçek buharlaşma değerleri için deneştirmeli meteorolojik su bilançosundan yararlanılmıştır. Hazırlanan meteorolojik su bilançosu havzada su kullanım modelinin oluşturulmasında önemli olan; sulama mevsimlerinin belirlenmesi, su fazlası ve su noksanı dönemlerinin tespitinde yardımcı olmaktadır. Bu yöntemlerde T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden elde edilen Afyon, Şuhut ve Dinar yerleşim merkezlerine ait meteorolojik veriler (yağış, sıcaklık vb.) değerlendirilmiştir.

Yüzeysel Akış: Çalışma alanına yüzeysel akış yoluyla beslenim ve boşalımları havzanın özellikleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu yüzeysel akışların DSİ 18. Bölge Müdürlüğü tarafından ölçülen akım rasat verileri değerlendirilerek su bütçesi hesaplamalarında yararlanılmıştır.

3.2.3. Hidrojeoloji

Bu bölümde litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri, akiferlerin hidrolik parametreleri ve yeraltısu dinamiği konuları araştırılmıştır.

Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri: İnceleme alanında bulunan jeolojik birimlerin su bulundurabilme ve geçirimsizlik özelliklerine göre hidrojeolojik sınıflaması yapılarak haritalanmış ve akifer birimler tanımlanmıştır.

Akiferlerin Hidrolik Parametreleri: Akiferlerin hidrolik parametrelerinin tespit edilmesi için temsili lokasyonlarda seçilen kuyularda akifer türü ve pompaj deney verilerine göre K (Hidrolik iletkenlik), T (Transmisibilite) ve S (Depolama katsayısı) değerleri Thies, Jacob vb. yöntemler kullanılarak belirlenmiştir.

Yeraltısuyu Seviyesi Değişimleri ve Dinamiği: İnceleme alanında bulunan sondaj kuyuları ve keson kuyularda, kurak ve yağışlı dönemlerde yeraltısuyu seviye ölçümleri yapılarak Afyon-Sandıklı havzası yeraltısuyu seviye haritaları hazırlanmıştır. Haritalar yardımıyla yeraltısuyu akım yönü ve mevsime bağlı yeraltısuyu seviye değişim miktarları tespit edilerek yorumlanmıştır.

3.2.4. Hidrojeokimya

Yeraltısuyu kimyası ve kirliliği çalışmaları kapsamında havzanın tamamını temsil edecek şekilde periyodik olarak örnekler alınmış ve hidrojeokimyasal (fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik ve kirlilik) özellikleri tespit edilmiştir.

Alınan su örneklerinde sırasıyla;

- ✓ Suların fiziksel parametresi olarak hidrojen iyon konsantrasyonu (pH), sıcaklık (T), özgül elektriksel iletkenlik (EC), tuzluluk (SAL) ve çözülmüş oksijen miktarı (DOI) gibi parametreler arazide yerinde YSI (ABD) 556-01 MPS portatif multiparameter cihazı ile ölçülmüştür.
- ✓ Su kalitesi açısından katyon (Na^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^+) ve anyon (Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- , CO_3^-) analizleri DSİ 18. Bölge Müdürlüğü Yeraltısuları Araştırma Laboratuvarı tarafından yapılmıştır. Analizlerde Na^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^+ iyonlarının belirlenmesi için TS 4530 ve TS 4474 metodları, Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- , CO_3^- iyonlarının belirlenmesi için de TS 3790, TS 4164 EN ISO 9297 ve TS 5095 metodları kullanılmıştır.
- ✓ Akiferlerin farklı noktalarından alınan örneklerde çevresel izotop içerikleri (oksijen 18 - ^{18}O , döteryum - ^2H , tridyum - ^3H) ile alfa (α) ve toplam beta (β) radyoaktif madde analizleri Ankara Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Daire Başkanlığı İzotop Laboratuvarı ve Şube Müdürlüğü tarafından

yapılmıştır. Laboratuvarlarda sularda toplam α ve β aktivitesi tayini için EPA 900.0 metodu, ^{18}O ve ^2H izotoplarının ölçümleri için IAEA (Uluslararası Atom Enerji Ajansı) Dengeleme Yöntemi, ^3H izotopunun ölçümü için ise IAEA (Uluslararası Atom Enerji Ajansı) Sıvı Siltasyon Sayma Tekniği (LSC) uygulamaları kullanılmıştır.

- ✓ Su kirliliği açısından değerlendirme yapabilmek için nitrat (NO_3^-), nitrit (NO_2^-) amonyak (NH_4) analizleri DSİ 18. Bölge Müdürlüğü Yeraltı Suları Araştırma Laboratuvarı tarafından yapılmıştır. Analizlerde nitrat, nitrit, amonyak azotu için kullanılan kitler kullanılmıştır.
- ✓ Su kirliliği açısından değerlendirme yapabilmek için ağır metal (Mn, Cu, Zn, Pb, Hg, Cd, Se, As, Fe, Cr vs.) analizleri Canada Acme Analytical Laboratories Ltd. tarafından yapılmıştır. Analizler ICP-MS ile 2CB ve 2C metodlarına uygun olarak belirlenmiştir.
- ✓ Havzada sürdürülen tarımsal faaliyetin yeraltı suyuna etkisini tartışabilmek amacıyla temsili olarak seçilen su kaynakları için pestisit kalıntı analizleri yapılmıştır. Analizler Isparta Tarım ve Köy İşleri İl Kontrol Laboratuvarında, GCECD/NPD cihazı kullanılarak EPA 2000 (Method 1656) yöntemleri ile yapılmıştır.
- ✓ Havzadaki suların içilebilirliğini tartışabilmek amacıyla temsili olarak seçilen su kaynakları için bakteriyolojik analizler yapılmış ve sulardaki koliform, fekal koliform ve E.coli miktarları belirlenmiştir. Isparta Tarım ve Köy İşleri İl Kontrol Laboratuvarı tarafından yapılan analizlerde TSE ISO 9308-1 analiz metodu kullanılmıştır.

Suların fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özellikleri ile çeşitli kullanım amaçlarına uygunlukları değerlendirilerek hidrojeokimya, ağır metal ve kirlilik haritaları hazırlanmış ve suların özellikleri çeşitli diyagram ve grafikler üzerinde yorumlanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Hydrojeolojik amaçlı çalışmalarda araştırma alanının jeolojik özelliklerinin tanımlanması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle öncelikle araştırma alanı olarak seçilen Sandıklı havzasında yüzeyleyen jeolojik birimlerin özellikleri önceki yapılan çalışmalar ve arazi gözlemleri ile araştırılmıştır. Bu bilgiler ayrıntılı olarak aşağıda tanımlanmaktadır.

4.1. Stratigrafi

Çalışma alanında Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı kayalar yayılım göstermektedir. İnceleme alanında yer alan birimler yaşlıdan gence doğru; Kestel formasyonu, Hüdai formasyonu, Çaltepe formasyonu, Seydişehir formasyonu, Karatepe formasyonu, Derealanı formasyonu, Akdağ formasyonu, Bozoğlan formasyonu, Oligosen konglomera, Sandıklı lavları, Soğucak piroklastikleri, traverten ve alüvyondur (Çizelge 4.1.; Şekil 4.1.; EK-1).

Çalışma alanında yeraltı yapısına açıklık getirmek amacıyla D-B doğrultulu kesitler hazırlanmıştır. Havzanın kuzeyinde Küçük Sincanlı ovasında tabanda tamamen Kestel formasyonunun yüzelediği görülmektedir (EK-2/Kesit A-A'). Güneye doğru inildikçe havzanın batısında alüvyon tabanında Akdağ formasyonu bulunmaktadır (EK-2/Kesit B-B';C-C'). Sandıklı civarında ve kuzeyinde ise Sandıklı lavları ve Soğucak piroklastikleri tabanında geniş alanlarda yine Kestel formasyonu yer almaktadır (EK-2/Kesit C-C'). Havzanın hemen hemen orta kesiminde bulunan Hüdaihamamı ve civarında ise batıda tabanda Kestel formasyonu gözlenirken doğuda ise Sandıklı lavları ve piroklastik birimlerin tabanında Akdağ formasyonları kesilmiştir (EK-2/Kesit D-D'). Çalışma alanının güney ucuna doğru genelde batıda Kestel formasyonu yüzeyleyken doğuda alüvyon ile Pliyosen birimlerin altında ve yüksek mostralarda Akdağ formasyonu yüzeylemektedir (EK-2/Kesit E-E'; F-F'). Havzanın güneyinde Derealanı ve Karatepe formasyonlarının bir antiklinal şeklinde Kestel formasyonu üzerinde yüzeledikleri gözlenmektedir (EK-2/Kesit D-D'; E-E'; F-F')

Çizelge 4.1. İnceleme alanında yayılım gösteren litolojik birimler ve yaşları

JEOKRONOLOJİ			LİTOSTRATİGRAFİ		LİTOLOJİ
Zaman	Devir	Devre	Grup	Formasyon	
SENOZOYİK	Kuvaterner			Traverten	Traverten
				Alüvyon	Kil, kum, çakıl, silt ar dalanması
	Tersiyer	Pliyosen		Hamamçay formasyonu	Kireçtaşı, kumtaşı ve silttaşı çakılları
		Miyosen		Sandıklı lavları	Trakit, trakiandezit, andezit ve bazaltlar
				Soğucak piroklastikleri	Tüf, tüfit ve aglomeralar
		Oligosen		Oligosen konglomera	Kireçtaşı ve seyrek olarak ise ultrabazik kayaların çakılları, konglomera
		Paleosen		Bozoğlan formasyonu	Yumuşak ince tabakalı kireçtaşı, killi kireçtaşı ardışıklanmalı, radyolaryalı kristalize kireçtaşı ve spilitler
MESOZOYİK	Kretase		PİSİDYA MESOZOYİK GRUBU	Akdağ formasyonu	Masif görünüm sunan dolomitik kireçtaşları, bol allokemli, mikritik kireçtaşları, çört ve çörtlü kireçtaşları, biyoklastlı ve biyomikritik kireçtaşları
	Jura			Derealanı formasyonu	Karbonatlı kumtaşı, silttaşı, kiltası ve killi kireçtaşı
	Triyas			Karatepe formasyonu	Çakıltaşı, kumtaşı, şeyl ve kumlu, killi kireçtaşları
PALEOZOYİK	Permiyen			Seydişehir Formasyonu	Silttaşı, yer yer killi kireçtaşı mercikleri
	Ordovisiyen	Alt			
	Kambriyen	Üst		Çaltepe Formasyonu	Dolomit ve kireçtaşları
		Orta			
	Alt	Hü dai Formasyonu	Kuarsit ve şistler		
PREKAMBRIYEN			AFYON PALOZOYİK GRUBU	Kestel formasyonu	Kuarsitik kumtaşı, fillit, kuvars-klorit-serisit şist, kuvars-feldispat-klorit şist, feldispat-kuvars serisit şist ve kuvars serisit şistler

PREKAMBRIYEN	PALEOZOYİK			MESOZOYİK			SENOZOYİK				ÜST SİSTEM		
	Kambriyen		Ordovisyan	Permian	Triyas	Jura	Kretase	Paleojen		Tersiyer		Kuvaterner	SİSTEM
	Alt	Orta	Üst					Paleosen	Oligosen	Miyosen	Pliyosen		SERİ
	Pzh	Pzç	Pzst	P-Rk	Jd	Kra		Tb	To	Tsp	Tsl	Qal	SİMGE
					Pisidy Mesozoyik Grubu				Oligosen Konglomera	Sandıklı Lavlar	Hamamçay	Alüvyon	GRUP
								Bozoğlan		Soguceak		Traverten	FORMASYON
								~ 150	~ 200	~ 150	~ 100-150		KALINLIK (m)
													LİTOLOJİ
													AÇIKLAMALAR
													Gevşek tutturulmuş kil, kum, silt, çakıl
													Traverten
													UYUMSUZLUK
													Kireçtaşı, kumtaşı ve silttaşı çakılları
													UYUMSUZLUK
													Trakiandezit, andezit, bazalt
													Tüf, tüfit, aglomera
													UYUMSUZLUK
													Kireçtaşı, seyrek olarak ultrabazik kayaların çakılları, konglomera
													UYUMSUZLUK
													İnce tabakalı kireçtaşı, silttaşı ardışıklı, polijenetik breş, radyolaryalı kireçtaşı, split
													Dolomitik kireçtaşları, bol allokemli, mikritik kireçtaşı, çört ve çörtlü kireçtaşları, biyoklastlı ve biyomikritik kireçtaşları
													Karbonatlı kumtaşı, silttaşı, kilttaşı, killi kireçtaşı
													UYUMSUZLUK
													Çakıltaşı, kumtaşı, şeyl, kumlu, killi kireçtaşları
													UYUMSUZLUK
													Silttaşı yer yer killi kireçtaşı mercekleri
													Dolomit Kireçtaşı
													Kuarsit Şist
													Kuarsitik kumtaşı, Fillit
													Kuars-klorit-serisit şist,
													Kuars-feldispat-klorit şist,
													Feldispat-kuars serisit şist
													Kuars serisit şistler
													ÖLÇEKSİZ

Şekil 4.1. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti

4.1.1. Paleozoyik

İnceleme alanında farklı lokasyonlarda yayılım gösteren Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar için alan ayrıntılı ilk çalışma Öngür (1973) tarafından yapılmıştır. Kayaların niteliği ve yayılımı ile ilgili yaptığı arazi çalışmalarında metamorfik temeli oluşturan birimi “*Afyon Paleozoyik Grubu*” olarak adlandırmıştır. Çalışma alanında bu gruba ait sadece metamorfize olmuş birimleri temsil eden Kestel formasyonu yüzeylemektedir.

4.1.1.1. Kestel formasyonu (Pk)

Kestel formasyonu, aynı metamorfik ve tektonik süreçleri geçirmiş birbirleri ile geçişli litolojilerden oluşmuştur. Aynı oranda metamorfizma geçirdikleri için bu kayalar görünüş ve mineralojik özellikleriyle birbirlerine benzer oluşumlar sunmaktadırlar (Öngür, 1973).

Tanım

Formasyon ilk olarak Öngür (1973) tarafından çalışma alanında bulunan Kestel çayı vadisine atfen “*Kestel Yeşilist formasyonu*” olarak adlandırılmıştır. Yazara göre formasyonu oluşturan kayaların en belirgin özelliği aynı derecede metamorfizmaya uğramış olmalarıdır. Metamorfik birim alttan üste doğru Kocayayla üyesi, Metabazalt üyesi, Koçgazi üyesi ve Hüdai üyesi olmak üzere dört üyeden oluşmaktadır. Birim Gutnic (1977) tarafından “*Sandıklı Porfiroidleri*”, Öztürk (1981) tarafından “*Kocayayla Metamorfileri*”, Öztaş (1989) tarafından “*Kocayayla formasyonu*”, Çakmakoğlu (1986) tarafından da “*Kestel formasyonu*” olarak adlandırılmıştır. İnceleme alanında söz konusu birim üyelere ayrılmadan “*Kestel formasyonu*” olarak haritalanmıştır.

Yayılım

Kestel formasyonu inceleme alanının kuzey ve güneybatı kesimlerinde; Yumruca, Çomoğlu, Celiloğlu ve Mentеш’in kuzeybatısı, Hüdaihamamı güneybatısı ve Küçük Sincanlı ovası çevresinde yayılımlara sahiptir (EK-1).

Litoloji

Kestel formasyonu tabandan tavana doğru özellikleri birbirinden farklı litolojilere ayrılabilir. Birimin görünür tabanında başlıca litolojilerini kuvarsitik kumtaşı, fillit, kuvars-klorit-serisit şist, kuvars-feldispat-klorit şist, feldispat-kuvars serisit şist ve kuvars serisit şistler oluşturmaktadır. Şistler, şeyl silttaşı ve ince taneli kumtaşlarından oluşmakta olup, içerisinde 1-20 cm kalınlıklara varan mermer bantları bulunmaktadır (Öngür, 1973; Çakmakoglu, 1986). Birim üste doğru kalkıştirlere geçmektedir. Kalkıştirlere açık gri, pembemsi ve yeşilimsi renklerde olup oldukça homojen bir özellik göstermektedirler. Kalkıştirlere de üste doğru metabaziklere geçmektedir. Yeşilimsi, bej renkli ve masif bir görünüme sahip olan birimin ilksel kayacını bazaltlar oluşturmaktadır. Petrografik incelemede başlıca plajioklas (albit), aktinolit ve epidot mineralleriyle birlikte aksesuar mineraller olarak rutil ve kalsitler bulunmaktadır (Öngür, 1973).

Metabazikler; üzerinde gri, yeşilimsi krem ve yer yer bordomsu renkli fillitler bulunmaktadır. Fillitler çoğunlukla kuvars, feldispat ve serisit minerallerinden oluşmuş olup; bazen şisti özellikler göstermektedir. Fillitlerin tabaka aralarında bazen silter şeklinde metabazikler bulunmaktadır. Fillitlerin en üst düzeyini bazen şistlerinde yer aldığı metakuvarsitik kumtaşları oluşturmaktadır. Açık gri, kahverengimsi ve pembe renkli olan birim bölgelere göre farklılıklar göstermektedir. Birim başlıca kuvars, feldispat minerallerinden oluşmaktadır. İnce-orta tabakalanma gösteren birimin içerisinde yer yer fillit düzeyleri bulunmaktadır (Öngür, 1973).

Dokanak ilişkisi ve kalınlık

Formasyon çalışma alanının temelini oluşturmaktadır. Tabanı çalışma alanında görülmemekle birlikte, üstünde diskordans olarak Karatepe formasyonu bulunmaktadır. Birimin görünür kalınlığı yaklaşık olarak 2600 m dolayındadır (Öngür, 1973; Şekil 4.1.).

Yaş

Öztaş (1989), Kestel formasyonunun yaşının Prekambriyen olduğunu belirtmiştir.

4.1.1.2. Hüdai formasyonu (Pzh)

Tanım

İlk defa Öngür (1973) tarafından “*Hüdai Kuvarsit Üyesi*” olarak tanımlanan birim, Öztaş (1989), Gedik (1989) ve Gürsu (2002) tarafından ise “*Hüdai Formasyonu*” olarak adlandırılmıştır. Hüdai Formasyonu Gürsu (2005) tarafından “*Celiloğlu Üyesi*” ve “*Örenkaya Kuvarsit Üyesi*” olmak üzere 2 üyeye ayrılmıştır. Birim, bu çalışmada “*Hüdai Formasyonu*” şeklinde nitelendirilmiştir.

Yayılm

Birimin en belirgin yayılımı Hüdai Kaplıcası ve civarındadır. Demirlik, Çiloğlantarla, Radar ve Koçgazi Tepe’lerinde mostra veren birim Celiloğlu, Örenkaya, Reşadiye ve Taşoluk mevkiilerinde ve civarında dar alanlarda yayılım göstermektedir (EK-1).

Litoloji

Birim çoğunlukla orta-kalın katmanlı, katman içi laminalı, açık gri, kahverengi, demirpası ve pembe renkli kuvarsitlerden meydana gelmekte ve yer yer şistlerle ardalı olarak bulunmaktadır. Birim yer yer bölgelerde farklılıklar sunmaktadır. Radar Tepe’de mor renkli kalsit damarları ile kesilmiş ve boz renkli iri daneli kumtaşı görünüm sunarken, Celiloğlu’nda orta ve kalın katmanlı boz renkli, fillit arakatlı, yuvarlak orta ve iri taneli feldispatlı, kıvrımlı katmanlı kuvarsit (Öngür 1973, Afşin 1991).

Dokanak ilişkisi ve kalınlık

Birim Kestel formasyonunu uyumlu olarak üzerlerken, üzerinde Çaltepe Formasyonu ile uyumlu olarak örtülmektedir. Birimin kalınlığı yaklaşık olarak 400-600m olarak söylenebilir (Afşin, 1991; Şekil 4.1.).

Yaş

Birime Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe formasyonu ile uyumlu olması sebebiyle Alt Kambriyen yaşı verilebilir (Afşin, 1991; Özgül, vd., 1991; Dean ve Özgül 1994; Kozlu ve Göncuoğlu, 1995)

4.1.1.3. Çaltepe formasyonu (Pzç)

Tanım

Birim Blumental (1947) tarafından Orta Toroslarda, Dean ve Monod (1970) tarafından Seydişehir bölgesinde yapılan çalışmalarda tanınlanmıştır. Öztaş (1989) tarafından dolomit ve kireçtaşı üyelerine ayrılarak “Çaltepe Formasyonu” olarak adlandırılan birim, bu çalışmada da aynı isimle anılmıştır.

Yayılm

Birim Demirlik, Çevrik, Tahirtarla, Toptaş, Karakaya ve Çiloğlantarla Tepe’lerinde mostra verirken, Hüdai kaplıcası ile Örenkaya güzergahı boyunca da usun bir yayılıma sahiptir (EK-1).

Litoloji

Birim başlıca dolomit, siyah renkli neritik kireçtaşı ve en üst düzeylerinde de alacalı renkli yumrulu kireçtaşından oluşmaktadır. Birimin büyük bir bölümünü oluşturan dolomitler, ayrışma yüzeyi kızılımsı, koyu gri, kirli beyaz renkli, iri kristalli özelliğe sahip olup, en üst düzeylerinde yaklaşık 15-25m kalınlıkta pembe, bej, yumrulu kireçtaşı tabakalarını kapsarlar (Afşin, 1991; Dean ve Özgül, 1994; Gürsu, 2005).

Dokanak ilişkisi ve kalınlık

Birim altta Hüdai Formasyonu ile üstte Seydişehir Formasyonu ile uyumludur. Birimin kalınlığı yer yer değişiklik göstermekle birlikte, yaklaşık olarak 350m olarak verilebilir (Afşin, 1991; Şekil 4.1.).

Yaş

Dean ve Özgül (1994) tarafından, Çiloğlantarla Tepe civarında birime ait trilobit fosilleri (*Acadoporadoxides meroensis*, *Ellipsocephalus sp*, *Protolenus pisidianusn.sp*, *Latoucheia sp*, *Corynexochella? Venustan.sp*) saptanarak birime yaşı Orta Kambriyen olarak verilmiştir. Ayrıca, Gedik (1989) tarafından Maymunkayası Tepe civarında bulunan *Hadimopanella inurselae n.sp* faunası ilede birim Orta Kambriyen yaşını almıştır.

4.1.1.4. Seydişehir formasyonu (Pzs)

Tanım

Birim Blumental (1947) tarafından “*Seydişehir Şistleri*” olarak adlandırılan birim, Dean ve Monod (1970) tarafından da ayrıntılı olarak incelenmiştir. Seydişehir bölgesinde yapılan çalışmalarda tanınmışlardır. Öztaş (1989) tarafından “*Seydişehir Formasyonu*” olarak adlandırılan birim, bu çalışmada da aynı isimle nitelendirilmiştir.

Yayılm

Birim Örenkaya mevki kuzeyinde Maymunkayası Tepe’den başlayarak Toptaş Tepe’sinin doğusuna kadar devam eden dar bir alanda yayılım göstermektedir (EK-1).

Litoloji

Birim ince katmanlı yeşilimsi renkli kumtaşı, sarımsı gri renkli silttaşı, açık yeşil renkli laminalı şeyl ve kuvars ardalanmasından oluşmaktadır. Birim yer yer mor renkli killi kireçtaşı mercekleride içermektedir (Afşin, 1991; Gürsu, 2005).

Dokanak ilişkisi ve kalınlık

Birim alttaki Çaltepe Formasyonu ile uyumlu iken üzerindeki Akdağ Formasyonu birimi uyumsuz olarak bulunmaktadır. Birimin kalınlığı yaklaşık olarak 300-1000m civarındadır (Afşin, 1991; Şekil 4.1.).

Yaş

Dean ve Gedik (1973) ve Öztaş (1989) tarafından yapılan incelemelere göre birimin yaşı Üst Kambriyen ve Alt Ordovisiyen olarak yaşlandırılmıştır (Afşin, 1991).

4.1.2. Mesozoyik

İnceleme alanında yer alan Mesozoyik yaşlı kayaçlar “*Pisidya Mesozoyik Grubu*” içerisinde bulunmaktadır Gruba ait Mesozoyik istif, genel olarak konglomera,

çakıltaşı, kumtaşı, şeyl, şist ve killi kumlu kireçtaşlarından oluşmaktadır. İstifi oluşturan birimler Karatepe formasyonu, Derealanı formasyonu ve Akdağ formasyonudur.

4.1.2.1. Karatepe formasyonu (P-TRk)

Tanım

Birim, ilk kez Parejas (1942) tarafından tanımlanmış ve güney Avrupa'daki Verrucano fasiyesi ile benzerlikler kurularak “*Verrucano*” ismiyle adlandırılmıştır. Birim, Öztürk (1981) tarafından Derealanı formasyonu kapsamında ele alınmış, Öngür (1973) ve Çakmakoğlu (1986) tarafından “*Karatepe Verrucano formasyonu*” olarak, Öztaş (1989) tarafından ise “*Verrucano formasyonu*” olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada ise, Afşin (1991) tarafından verilen “*Karatepe formasyonu*” ismi benimsenmiştir.

Yayılm

Birim, Örenkaya'nın batısı ve kuzeyinde, Menteş ve Alamescit'in batısında, Karapınar'ın güneyinde, Hıdırböreği, Maymunkayası, Karakaya, Orta, Çörlekbaşı, Çimek ve Karacık tepelerinde şerit halinde yayılım göstermektedir (EK-1).

Litoloji

Genel olarak bordo, kırmızı, yer yer açık kahve, kirli sarı ve açık yeşil renklere çakıltaşı, kumtaşı, şeyl ve kumlu, killi kireçtaşlarından oluşmaktadır. Konglomeralar yassı, 2-10 cm boyutlu, iyi yuvarlaklaşmış çakıllar ve bunları birbirine bağlayan demirli kumlu bir çimentodan kuruludur. Tabakalar tabanda yaklaşık 1m kalınlığa sahip olup yukarıya doğru incelmektedir. Birim üste doğru ince taneli kumtaşı ve silttaşlarına geçmektedir. Kalın tabakalanma gösteren birim üst seviyelerde tabakasız bir görünüm sunmaktadır (Öngür, 1973; Çakmakoğlu, 1986; Afşin, 1991).

Dokanak ilişkisi ve kalınlık

Karatepe formasyonu, Kestel formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Üstünde ise Derealanı formasyonu uyumlu olarak yer almaktadır. Birimin kalınlığı

yer yer farklılık göstermekte ve 100 ile 400m arasında değişiklik sunmaktadır (Öngür, 1973; Çakmakoğlu, 1986; Şekil 4.1.).

Yaş

Birimin yaşı ile ilgili farklı görüşlere varılmıştır. Parejas (1942), Güney Avrupa ile deneştirerek Permiyen yaşını vermiş, Öngür (1973), Permo-Triyas, Gutnic (1977), ve Öztürk (1981), Alt Liyas, Çakmakoğlu (1986) ve Afşin (1991), Orta Triyas?-Liyas olarak birimi yaşlandırmışlardır.

4.1.2.2. Derealanı formasyonu (Jd)

Tanım

Birim, Öngür (1973), tarafından birimin en iyi görüldüğü yerin Derealanı mevkiinde olması ve az gelişmiş şisti özelliğe sahip olması nedeniyle “*Derealanı Şist formasyonu*” ismi ile benimsenmiştir. Gutnic (1977), Öztürk (1981), Çakmakoğlu (1986) ve Afşin (1991), tarafından ise “*Derealanı formasyonu*” olarak adlandırılmış ve bu çalışma da aynı isim benimsenmiştir.

Yayılım

Formasyon, Örenkaya'nın batısı ve kuzeyinde, Menteş ve Alamescit'in batısında ve Karapınar'ın güneyinde gözlenmektedir (EK-1).

Litoloji

Formasyon genel olarak, karbonatlı kumtaşı, silttaşı, kiltası ve killi kireçtaşından oluşmaktadır. Alt düzeylerde bordo, mor, kirli sarı renklerde kaba taneli kumtaşları ile başlayan formasyon, üste doğru koyu gri, mor, bordo, kirli sarı yeşilimsi kahve, yeşilimsi sarı, bej renklerde değişen kumtaşı, silttaşı, kiltası, killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ardalanması olarak devam etmektedir. Genellikle ince tabakalı, karbonat oranının arttığı düzeylerde orta tabakalıdır (Öngür, 1973; Çakmakoğlu, 1986).

Dokanak ilişkisi ve kalınlık

Birim tabanda Karatepe formasyonu ile üstte ise Akdağ formasyonu ile uyumludur. Birimin kalınlığı Kara tepe güneyinde yaklaşık olarak 300-450 m civarındadır (Afşin, 1991; Şekil 4.1.).

Yaş

Formasyonun yaşı ile ilgili önceki çalışmalarda çok farklı görüşler sunulmaktadır. Araştırmacılar birime, Öngür (1973), Triyas-Jura-Alt Kretase, Gutnic (1977), Gutnic vd. (1979), Liyas-Dogger, Öztürk (1981), Liyas, Öztürk (1989), Liyas- Malm yaşını vermişlerdir. Gutnic (1977) ve Öztürk (1981), formasyonun resifal kireçtaşlarının görüldüğü yerde sona erdiğini belirterek, Liyas yaşının daha doğru olduğunu vurgulamışlardır. Bu yaşlandırma, çalışma alanı içinde geçerli olduğundan benimsenmiştir.

4.1.2.3. Akdağ formasyonu (Kra)

Tanım

Birim, Öztürk (1981) ve Afşin (1991) tarafından “*Akdağ formasyonu*”, Çakmakoğlu (1986) tarafından “*Akdağ kireçtaşları*”, Öztaş (1989) tarafından “*Akkıraç formasyonu*” olarak adlandırılmıştır. Ayrıca, Öztürk (1981), birimi ayırtladığı “*Çamoluk formasyonunun*” bir kısmına karşılık geldiğini belirtmiştir. Öngür (1973) ise birimi, yüksek Akdağ zirvesini oluşturması, egemen litolojisinin kireçtaşı olması ve altındaki formasyonlardan farklı bağımsız nitelikler göstermesi ile “*Akdağ Kireçtaşı formasyonu*” olarak isimlendirmiştir. Ayrıca araştırmacı sahanın değişik yer ve kesitlerde ayrı ayrı ele alınması gereken bir birim olduğunu savunmuş ve birimi alt üyelere ayırmıştır. Bu üyeler “*Ergenlik üyesi, Kusura üyesi ve Akın üyesi*”dir. Birim bu çalışmada “*Akdağ formasyonu*” olarak adlandırılmıştır.

Yayılm

Akdağ formasyonu, inceleme alanının kuzeybatısı ve güneyinde geniş bir yayılıma sahiptir. Çalışma alanının güneydoğusunda Gökçealan ve Doğansu köylerinin doğusunda, Akın ve Kargın köylerinin güneyinde, Ballık ve Türbelkavak çevresinde,

güneybatıda Alamescit, Ekinova, Gülyazı ve Kızılören'in kuzeybatısında gözlenmektedir. Çalışma alanının kuzeybatısında ise, Yumruca ve Saltık, Alagöz, Daylık, Kınık, Karadirek köylerinin ve Küçük Sincanlı ovasının batısında ve Çukurca'nın güneyinde sınırlanırken, Çambeyli köyünün civarında geniş bir yayılım sunmaktadır (EK-1).

Litoloji

Akdağ formasyonu, tabandan tavana doğru farklı özelliklerde olan ve birbirleriyle geçişler gösteren kireçtaşlarından oluşmaktadır (Çakmakoğlu, 1986). Birim tabanda; gri, koyu gri, koyu bej, krem ve beyaz renkli, ince-orta tabakalı, yer yer masif görünüm sunan dolomitik kireçtaşlarından oluşmaktadır (Öngür, 1973). Dolomitik kireçtaşları açık gri, bej renklerde, ince-orta tabakalanmalı, çört bantlı mikritik kireçtaşı ara düzeyleri içermektedir (Çakmakoğlu, 1986).

Birim üste doğru bol allokemli, mikritik kireçtaşı, çört ve çörtlü kireçtaşlarına geçmektedir. İstif bu düzeyde koyu bej, bordo renkli, ince-orta tabakalıdır. Genel kesitlere bakıldığında, koyu bej, biyoklastlı kireçtaşları, ince tabakalı, bejden bordoya renkli, kireçtaşı-çört ardışıklanmalı, radyolaryalı bordo şistler ve kuvarsitler şeklinde bir dizilim sunmaktadır (Öngür,1973)

Akdağ formasyonu üst düzeylerinde görülen biyoklastlı kireçtaşları bol miktarda lamelli breş, gastrapod, mercan ve algler içermektedir (Çakmakoğlu, 1986). Öngür (1973) birimin bu seviyelerinin açık gri renkli, yer yer sünger izleri gösteren, biyomikritik kireçtaşlarından oluştuğunu belirtmiştir. Öztürk (1981), Akdağ formasyonunun dasitik dayklar tarafından da kesildiğini belirtmiştir.

Dokanak ilişkisi ve kalınlık

Çalışma alanıda oldukça geniş yayılımı olan Akdağ formasyonu, altındaki Derealanı formasyonu ile uyumluluk gösterirken, üstten Bozoğlan formasyonu ile diskordans olarak sınırlanmaktadır (Öngür, 1973). Birimin kalınlığı inceleme alanının değişik bölümlerinde farklılık göstermekte olup 500-1000 m arasında değişen kalınlıklar gösterebilmektedir (Öngür, 1973; Çakmakoğlu, 1986; Şekil 4.1.).

Yaş

Formasyonun yaşı ile ilgili değişik görüşler savunulmuştur. Gutnic (1977) ve Öztürk (1981) Dogger; Öngür (1973), Çakmakçoğlu (1986) ve Öztaş (1989) ise Jura-Kretase yaş aralıklarını vermişlerdir. Afşin (1991), formasyondan aldığı numunelerde belirlediği, *Trochammina sp*, *Siphovalvulina sp*, *Ataxophragminidae*, *Reophax sp* fosilleri ile mavi yeşil algler ve Peleciopoda kavkalarına göre birimi Üst Jura-Alt Kretase olarak yaşlandırmıştır.

4.1.3. Senozoyik

İnceleme alanındaki Senozoyik birimler, Bozoğlan formasyonu, Oligosen konglomera, Sandıklı lavları, Soğucak piroklastikleri, Hamamçay formasyonu, alüvyon ve travertenden oluşmaktadır.

4.1.3.1. Bozoğlan formasyonu (Tb)

Tanım

Birim, Öztürk (1981) tarafından “*Yuva formasyonu*” olarak adlandırılmıştır. İçinde bulunan fosillere göre yaşı Paleosen olarak nitelendirilen ve Menteş’in doğusundaki Bozoğlan dere vadisinde görülen birimi Öngür (1973), “*Paleosen Bozoğlan formasyonu*” olarak adlandırmış ve bu çalışmada ise “*Bozoğlan formasyonu*” ismi ile benimsenmiştir.

Yayılım

Birim çalışma alanının güneybatısında Ekinova batısı ve güneybatısı, Kızılören güneybatısı, Bozoğlanderisi, Efekli tepe, Yüksekkıran tepe dolaylarında yayılım göstermektedir. Ayrıca, Ballık köyünün doğu ve kuzeydoğusunda da küçük bir bölgede yayılım sunmaktadır (EK-1).

Litoloji

Bozoğlan formasyonu, altta gri renkli, mikrokristalin dokulu, yumuşak ince tabakalı kireçtaşı, üzerinde bej renkli killi kireçtaşı ardışıklanmalı, daha üstte polijenetik breş,

radylaryalı kristalize kireçtaşı ve split yeralmaktadır (Öngür, 1973). Kireçtaşları ince-orta tabakalı ve mikritik özelliklerdedir (Çakmaköğlu, 1986).

Dokanak ilişkisi ve kalınlık

Birim, Akdağ formasyonu üzerinde uyumlu olarak bulunmaktadır. Oligosen konglomerası ile de diskordans olarak üstlenmektedir. Birimin görünür kalınlığı yaklaşık olarak 150 m'dir (Öngür, 1973; Şekil 4.1.).

Yaş

Birimin yaşı Çakmaköğlu (1986) tarafından Paleosen-Alt Eosen olarak kabul edilmiştir.

4.1.4. Oligosen konglomera (To)

Tanım

Birim Oligosen yaşlı ve konglomeradan oluşması sebebiyle Öngür (1973) tarafından “*Oligosen konglomerası*” olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada da aynı isim benimsenmiştir.

Yayılm

Birim inceleme alanının kuzey ve güneyinde yayılım göstermektedir. İnceleme alanının güneyinde Kızılören ve Gülyazı köylerinin güneyinde, Ballık köyünün doğusu, ile Türbelkavak Tepenin kuzey ve kuzeybatısında yer almaktadır. Kuzeyde ise Daylık, Kınık, Karadirek köylerini çevrelerken, Karasandıklı, Oda, Alagöz, Çambeyli ve Başağaç köyleri çevresinde görölmektedir (EK-1).

Litoloji

Birim yoğun olarak kireçtaşı, seyrek olarak ise ultrabazik kayaların çakıllarından oluşmuştur. Konglomeralarda taneler 2-20 cm boyutlarında olup; orta-kalın tabakalanma gösterirler. Gri, kırmızımsı renkli olan konglomeralar karbonat çimentoludurlar (Öngür, 1973).

Dokanak ilişkisi ve kalınlık

Birim alttaki Bozoğlan formasyonu üzerinde diskordans olarak yer alır. Üstten ise Sandıklı piroklastikleri ve Sandıklı lavları ile ayrımlı kaya uyumsuzluğu şeklinde yer alır ve birimin kalınlığı yaklaşık olarak 200 m civarındadır (Öngür, 1973; Şekil 4.1.).

Yaş

Birimin yaşı Öngür (1973) tarafından Oligosen olarak belirlenmiştir.

4.1.5. Soğucak piroklastikleri (Tsp)

Tanım

Birim Çakmakoğlu (1986) tarafından “*Akın üyesi*” olarak adlandırılırken, Afşin (1991) tarafından “*Tüfit-aglomera*” başlığı altında tanımlanmıştır. Öngür (1973)’de birimi, en merkezi, en tanıtıcı özelliklerinin Soğucak çevresinde olması ve tamamen tüflerden kurulu bir yapıya sahip olması ile “*Soğucak tüf üyesi*” olarak adlandırmıştır. Bu çalışmada ise “*Soğucak piroklastikleri*” ismi benimsenmiştir.

Yayılım

Birim inceleme alanının doğu ve kuzey doğusunda oldukça geniş bir bölgede yayılım sunmaktadır. Birim Sandıklı’nın doğusu, Dutağacı, Selçik, Bektaş, Kargın ve Akın köyleri ile Kara tepe arasında geniş bir hat boyunca uzanırken, Gökçealan, Doğansu ve Ballık köyleri doğusunda dar bir yayılıma sahiptir. İnceleme alanının kuzeyinde ise Çukurca köyünün batısı, Çambeyli doğusu, Akharım ve Serban köylerinin kuzeydoğusu, Karacaören, Yolkonak, Ekinhisar ve Kızık köyleri doğusu ve Çiğiltepe köyü çevresinde geniş bir alanda yayılım göstermektedir (EK-1).

Litoloji

Soğucak piroklastikleri, genel olarak tüf, tüfit ve aglomeralardan oluşmaktadır (Çakmakoğlu, 1986). Öngür (1973) ve Afşin (1991)’in yaptığı gözlem ve kesitlere göre istif, köşeli lav, kireçtaşı, süngertaşı parçaları ile kum-kil boyutunda piroklastik malzeme içeren, boz renkli tüf breşleri ile başlamakta, kırmızı renkli, yuvarlak lav

çakılları içeren aglomeratik bir düzeyden sonra tuf breşi ile sonlanmaktadır. Piroklastikler çoğunlukla masif, 40cm'den birkaç metreye kadar değişen kalınlıklar göstermektedirler. Birim içerisinde volkanik etkinliklerle meydana gelmiş kömür seviyeleri gözlenmektedir (Afşin, 1991).

Dokanak ilişkisi ve kalınlık

Soğucak piroklastikleri, Sandıklı lavları ile yanal geçişlidir. Altta Oligosen konglomerayı uyumsuz olarak örtmektedir. Birimin kalınlığı hakkında farklı görüşler vardır. Öngür (1973)'e göre yaklaşık olarak 50-120 m, Afşin (1991)'e göre yaklaşık olarak 60-100 m civarındadır (Şekil 4.1.).

Yaş

Birimin yaşı, yer yer içerdiği lav parçacıklarından dolayı Üst Miyosen olarak verilmiştir (Öngür, 1973; Çakmakoğlu, 1986; Afşin, 1991)

4.1.6. Sandıklı lavları (Tsl)

Tanım

Birim, Öngür (1973) tarafından Sandıklı formasyonu'nunun bir üyesi şeklinde "Volkanit zonu" olarak adlandırılmıştır. Afşin (1991) ise birimi mağmatik kayalar kapsamında "Andezit ve bazalt" başlığı altında incelemiştir. Bu çalışmada da "Sandıklı lavları" adı ile nitelendirilmiştir.

Yayılm

Üye, inceleme alanınının doğu, kuzeydoğu ve kuzeyinde farklı bölgelerde geniş bir yayılıma sahiptir. Sert kayalıklar ve sivri tepeler halinde bulunan birim, ovanın drenaj alanında da gözlenmektedir. Doğuda Sandıklı, Karacaören, Dutağacı, Kargın ve Bektaş köylerinin civarında trakiandezitler gözlenirken, Yolkonak ve Ekinhisar doğusunda, kuzeyde Çiğiltepe çevresi, Serban kuzeyinde andezitler ve Karadirek köyünün kuzeybatısında dar bir alanda da bazaltlar gözlenmektedir (EK-1).

Litoloji

İnceleme alanında birim trakit, trakiandezit, andezit ve bazaltlardan meydana gelmektedir. Trakiandezitler, gri, pembe, yeşil siyah, açık kahverengi bazaltlar ise kıvıllı-kahverengi ve kahve tonlarında renk sunmaktadırlar. Bunlar tüfler içerisinde blok ve çakıllar biçiminde gözlendiği gibi, siller biçiminde ya da bunların üstünde lav akıntıları biçiminde de bulunabilirler. Bazalt akıntılarının yayılımları genelde fazla olmakla beraber kalınlıkları azdır. Trakiandezitler ve bazaltlar bol kırık ve çatlaklı yapılarının yanısıra gözenekli yapıya sahiptirler. Andezitler, yer yer bozuşmuş, kolay dağılan, koyu yeşilimsi, sarımsı renkli, feldispatları kaolinleşmiş durumdadırlar. Bunların ada yayı volkanizmasına bağlı olarak oluştuğu sanılmaktadır (Öngür, 1973; Tuzcu, 1974; Afşin, 1991).

Dokanak ilişkisi ve kalınlık

Sandıklı lavları, Soğucak piroklastikleri ile yanal geçişlidir. Hamamçay formasyonu ise birim üzerine diskordans olarak gelmektedir (Şekil 4.1.).

Yaş

Volkanizma, Orta Miyosen'in sonlarına doğru başlayıp tüm Üst Miyosen boyunca devam etmiştir (Ercan, 1986). Becker-Platen (1977) birimin yaşını Üst Miyosen olarak doğrulamıştır.

4.1.7. Hamamçay formasyonu (Tp)

Tanım

Birim, Afşin (1991) tarafından "*Hamamçay üyesi*" ismiyle anılmıştır. Öngür (1973), ise "*Pliyosen Hamamçay üyesi*" olarak kabul etmiştir. Çakmakoğlu (1986) tarafından "*Pliyo-Kuvaterner çökeller*" adı altında incelenen birim, bu çalışmada "*Hamamçay formasyonu*" olarak anılmıştır.

Yayılım

Formasyon inceleme alanının yaklaşık olarak üçte birini kaplamakta ve ova kısmını oluşturmaktadır. İnceleme alanında kuzey-güney doğrultusunda bir hat boyunca

uzayan oldukça geniş alanda yayılıma sahiptir. Sandıklı doğusundan başlayarak, Dutağacı, Yeniçay, Selçik, Bektaş, Kargın, Karatepe, Yayman, Nasuhoğlu, Saltık, Emirhisar, Reşadiye, Yayman, Çomoğlu, Celiloğlu, Selçik ve Akın köylerinde, Karakaya tepe, Demirlik tepe ve Tepecik ile Kızılören-Türbelkavak tepe arası, Hüdai hamamı-Karatepe arası, Koçhisar, Davul, Beştepe, Sorkun, Kızılca, Mırtaz, Yumruca, Çukurca ve Saltık köylerinde de geniş yayılıma sahiptir. Formasyon çalışma alanı içerisinde yaklaşık 328 km² lik bir alanda gözlenmektedir (EK-1).

Litoloji

Birim başlıca kırıntılı sedimanter kayaçların araldanmasından oluşmaktadır (Öngür, 1973; Çakmakoglu, 1986; Afşin, 1991). Bunlar genel olarak çimentolanmış olmakla birlikte yer yer çimentolanmamış seviyelerde gözlenmektedir. Formasyon tabanda orta-iri tanelerden oluşan ve gevşek tutturulmuş çakıltaşlarıyla başlamaktadır. Çakıltaşları kirli sarı, kırmızımsı renklidir. Taneler oldukça kötü boylanmalı, derecelenmesiz ve kötü yuvarlaklaşmıştır. Çakıltaşları tabakalanmasız ve yer yer orta-kalın tabakalanmalıdır. Çakıltaşlarının bileşenlerini temeldeki metamorfikler, kireçtaşları ve volkanit çakıllar oluşturmaktadır. Birimin üste doğru gidildikçe taneleri incelemek kötü tutturulmuş kumtaşlarıyla ve silttaşlarıyla geçişler göstermektedirler. Kumtaşları ve silttaşları açık gri, sarımsı, kırmızımsı renkte ve orta-kalın tabakalanma göstermektedirler.

Dokanak ilişkisi ve kalınlık

Birim altta Sandıklı lavları ve Sandıklı piroklastikleri üzerine diskordans olarak gelirken, üstten ise traverten ve alüvyon ile diskordansla örtülmüştür. Birimin kalınlığı Öngür (1973)'e göre yaklaşık olarak 20-100 m, Afşin (1991)'e göre ise yaklaşık olarak 100-250 m dolayındadır (Şekil 4.1.).

Yaş

Birimin yaşı hakkında göl çökelleri ile ilişkileri dikkate alınarak Pliyosen olarak verilmiştir (Afşin, 1991).

4.1.8. Alüvyon (Qal)

Alüvyon, Hamamçayı, Kestel ve Karadirek çaylarının bıraktığı sıkılaşmamış çakıl, kum, silt ve kil gibi pekişmemiş güncel çökellerdir. Bu sıkılaşmamış birimler diğer akarsuların ovaya getirdikleri gevşek malzemelerle yanal olarak geçişlidirler. Başlıca çakıl ve kumlu seviyelerle temsil edilen alüvyon, içerisinde yer yer kil bantları içermektedir. Ayrıca birim killi çakıl, kumlu kil, kumlu killi çakıl, çakıl arabantlı kil şeklinde bir istif sunmaktadır (Afşin, 1991).

Alüvyon inceleme alanında ince-uzun koridorlar halinde yayılım göstermektedir. Bir hat Kuyucak-Hüdaıhamamı, Hüdaıhamamı-Kızılören, Kuyucak-Yumruca, Yumruca-Çomoğlu hattı boyunca devam ederken diğer bir hat Akharım-Serban çizgisi üzerinde devam etmektedir. Alüvyon yayılımları Sandıklı Kuruçay ve Küçük Sincanlı ovalarını oluşturmaktadır. Sandıklı Kuruçay ovasını oluşturan alüvyonun alanı 115 km², Küçük Sincanlı Ovasını oluşturan alüvyonun alanı ise 59 km²'dir. Çalışma alanındaki alüvyonun toplam alanı 174 km² olarak belirlenmiştir (EK-1).

4.1.9. Traverten (Qtr)

Travertenler Hüdaı hamamı kaynakları çevresinde dar bir alanda yayılıma sahiptir. Birim özellikle kaplıcanın kuzeybatısında ve güneyindeki Çevrik tepesi üzerinde yer almaktadır (EK-1). Tabakalı görülen traverten oluşumlarının kalınlıkları yaklaşık olarak 20 m ve uzunluğu 800 m civarındadır (Öngür, 1973; Afşin, 1991; Şekil 4.1.).

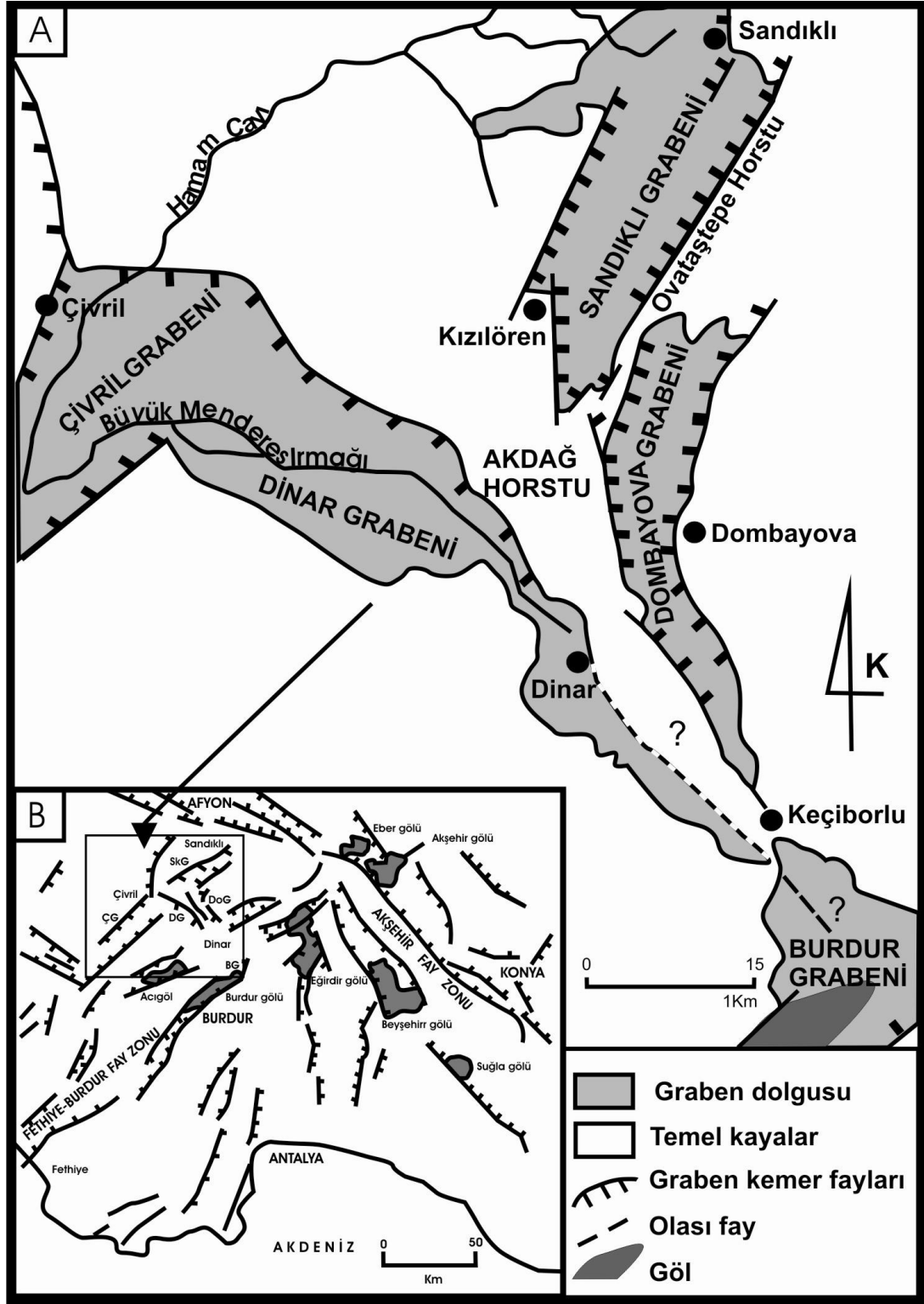
4.2. Yapısal Jeoloji

4.2.1. Faylar

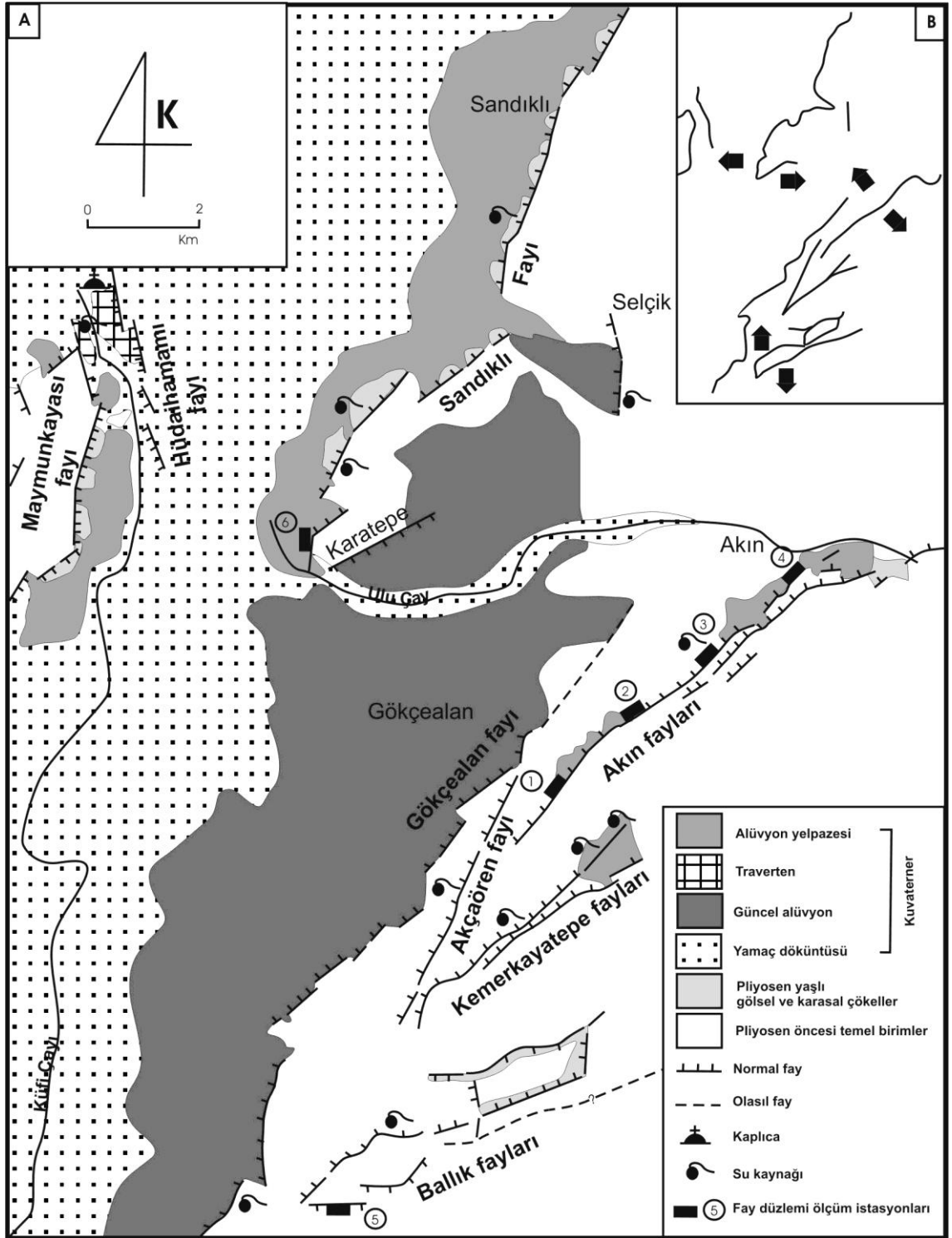
İnceleme alanı Batı Anadolu'da, Isparta dış yayının kuzeybatı köşesinde ve Göller Bölgesi horst-graben sistemi içinde yer almaktadır (Şekil 4.2.A,B). Göller Bölgesi KD, KB, K-G ve D-B gidişli verev ve düşey atımlı normal faylarla çok sayıda horst ve grabenlere bölünmüştür. Bunlardan iki tanesi Sandıklı ve Dombayova

grabenleridir (Şekil 4.2.A,B). Her iki graben batıda Akdağ horstu ile Dinar grabeninden, doğuda ise Kükürtdağı horstu ile Çölovası grabeninden ayrılır. Sandıklı grabeni, Batı Anadolu'nun doğusunda, Isparta Büklümü'nün batı kenarının kuzeyinde, Dinar, Çivril ve Dombayova grabenlerine komşu, KD-GB gidişli faylarla sınırlı, yaklaşık 3-9 km genişlikte, 34 km uzunlukta bir çöküntü alanıdır. Dombayova grabeninden Ovataştepe horstu ile ayrılan Sandıklı grabeni gelişimini aktif olarak sürdürmektedir. Sandıklı grabenin gerek doğu gerekse batı kenarları, sık aralıklı, uzunlukları 1-32 km arasında değişen, birbirine koşut-yarı koşut uzanımlı, graben içine doğru eğimli ve basamak türü normal faylar tarafından denetlenmektedir. Bu önemli faylardan, Hüdaihamamı, Karatepe, Gökçealan ve Sandıklı fayları, Akın, Ballık, Akçaören ve Kemer kaya fayları, fay düzlemleri üzerinde görülen kayma yüzeyleri ve fay çentikleri, alüvyon yelpazeleri ve bu fayların yakınındaki su kaynakları ile bunlarında yeni tektonik döneme ait olduklarını düşündürmüştür. Ayrıca, inceleme alanında Örenkaya, Kızılören fayları da yer almaktadır. Faylar yer yer iyi korunmuş fay aynaları ve kayma çizikleri sunmaktadır. Bu gözlem yerlerinden alınan fay düzlemi ve ilgili yapı ölçümlerinin kinematik analizi ile Sandıklı grabenin kenar faylarının, çok az sol veya sağ yanal doğrultu atım bileşeni olan verev atımlı normal faylar olduğu kanıtlanmıştır. Yani Sandıklı grabeni, verev atımlı normal faylarla (Akın, Kemer kayatepe, Ballık fayları) Miyosen sonunda gelişmeye başlamış, Geç Pliyosen'de başlayan ve Kuvaterner'de de devam eden faylanmalarla Gökçealan, Sandıklı, Maymunkayası ve Hüdaihamamı fayları bugünkü geometrisini kazanmıştır (Öngür, 1973; Cihan vd., 2000; Koçyiğit vd., 2001; Cihan vd., 2003).

Çalışma alanında çok sayıda gözlenen fay ve fay setleri (Şekil 4.3.A,B)'de verilmiştir. Genel olarak, inceleme alanındaki fayların tam süreklilik gösteren yüzlekleri olmayıp, alüvyon yelpazelerinin altına gömülme ya da sağa sola sıçramalar şeklinde doğrultularının yerel olarak değiştiği gözlenmektedir. Ayrıca, inceleme alanı doğusundaki faylar havza içine doğru basamaklar oluşturmuşlardır (Cihan, 2000). İnceleme alanında genel olarak normal faylanma sözkonusudur.



Şekil 4.2.A. Batı Anadolu'daki horst-graben sistemini gösteren basitleştirilmiş harita (Koçyiğit, 1984); B: Isparta Açısı ve yakın çevresinin başlıca yapısal öğelerini gösteren yalınlaştırılmış harita (Koçyiğit 2000, Bozkurt 2001). Çentikli kalın çizgiler normal fayları gösterir ve dişler düşen blok tarafındadır. SkG-Sandıklı grabeni, DoG-Dombayova Grabeni, ÇG-Çivril Grabeni, DG-Dinar Grabeni, BG-Burdur Grabeni



Şekil 4.3.A. Sandıklı grabeninin neotektonik haritası (Cihan, 2000); B: Sandıklı grabenindeki genişleme yönlerini gösteren basitleştirilmiş harita

4.2.1.1. Normal faylar

Normal faylar; Akın, Ballık, Kemer kayatepe, Sandıklı, Akçaören, Gökçealan, Maymunkayası ve Hüdaihamamı fayları olmak üzere çok çeşitlidir (Şekil 4.3.A.;B.).

Akın fay seti

Akın, Ballık ve Kemer kayatepe faylarından oluşan bir fay setidir (Şekil 4.3.A.). Birbirine benzer özellik gösteren faylar, Mesozoyik yaşlı kireçtaşları ile Geç Miyosen yaşlı birimleri birbirinden ayırmaktadır (Afşin, 1991).

Akın fayları; Akın fayları Öngür (1973) tarafından adlandırılmıştır. Faylar, inceleme alanı içerisinde yer alan Gökçealan köyü doğusundan Kargın köyü doğusundaki Küçükçal tepesine kadar uzanmakta ve Akdağ formasyonunu Üst Miyosen yaşlı birimlerden ayırmaktadır. Akın köyüne doğru birbirine paralel iki set halinde, basamak şeklinde gelişmişlerdir (Şekil 4.3.A.). Miyosen sonunda oluşarak Pliyosen’i etkilemiş KD-GB, uzanımlı normal faylardır. Yer yer alüvyon yelpazeleri ile örtülü olmasına karşın fay yüzlekleri oldukça belirgindir ve breşleşmiş durumdadır (Afşin, 1991; Cihan, 2000).

Ballık fayları; Ballık köyünün, KD-GB ve DB gidişli verrev atımlı bir faylardır (Şekil 4.3.A.). Bu faylardan alınan ölçümlerde, fayların 52-68° arasında eğimli oldukları, yan yatımlarının ise 15° değiştiğini göstermektedir (Cihan, 2000).

Kemer kayatepe fayları; Akın fay sistemini oluşturan faylardan olan Kemer kayatepe fay düzlemleri, KD-GB gidişli verrev atımlı faylardır (Şekil 4.3.A.). Akın ve Ballık faylarına benzer özellik göstermektedir (Cihan, 2000). Kemer kayatepe fayları, Akçaören fayının doğusunda, Akın fayları ile Ballık fayları arasında uzanım sunmaktadır (Cihan, 2000).

Sandıklı fayı

Fay, Afşin (1991) tarafından “*Karatepe-Sandıklı fayı*” adı altında, Cihan (2000) tarafından ise “*Sandıklı Fayı*” adı altında incelenmiştir. Karatepenin kuzeybatısından

başlayıp, K30D doğrultusunda Sandıklı'nın kuzeydoğusuna kadar uzanarak volkanik kayalara kadar ulaşan ve batı kenarı düşen normal bir faydır (Afşin, 1991). KD-GB, gidişli, yaklaşık KB'ya eğimli Sandıklı fayı, Karatepe civarlarında Mesozoyik yaşlı, Sandıklı dolaylarında ise Miyosen yaşlı birimleri, Pliyo-Kuvaterner yaşlı genç havza çökellerinden ayırmaktadır (Şekil 4.3.A.; Cihan, 2000).

Akçaören fayı

İnceleme alanının güneydoğusunda yer alan Akçaören fayı Gökçealan, Akın ve Kemer kaya faylarının arasında gelişmiştir (Şekil 4.3.A.). KD-GB gidişli, KB'ya eğimli ve yaklaşık olarak 4 km uzunluğunda normal fay olup, Pliyosen yaşlıdır (Cihan, 2000).

Gökçealan fayı

Gökçealan fayı, Gökçealan köyünün yaklaşık 1,5 km kadar güneydoğusundan geçerek güneyde Ballık'ın batısına kadar devam etmektedir (Şekil 4.3.A.). KD-GB, gidişli, ve KB'ya eğimli olan Gökçealan fayı, Geç Miyosen yaşlı birimleri Pliyosen yaşlı birimlerden ayırmaktadır (Cihan, 2000).

Maymunkayası fayı

Kuzeyde Hüdaihamamı KB'dan başlayıp, güneyde Hamamçayı boyunca ilerleyerek devam eden Maymunkayası fayı, KD-GB uzanımlı, 50-55° güneydoğuya eğimli normal bir faydır (Şekil 4.3.A.). Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı birimlerden oluşan temel kaya birimlerini, genç havza çökellerinden ayıran fay, havzanın doğusundaki faylarla benzer özellikler taşımaktadır (Cihan, 2000).

Hüdaihamamı fayı

İnceleme alanının batısında yer alan KB-GD gidişli Hüdaihamamı fayı, Kuvaterner birimler içerisinde gelişmiş olduğundan, çalışma alanı içerisindeki en genç faydır. Hüdaihamamı fayının kuzeybatısında faya bağlı olarak traverten oluşumlarını devam etmektedir (Şekil 4.3.A.; Cihan, 2000).

4.2.2. Kıvrımlanma

Çalışma alanının kuzeybatısında KD-GB yönlü gidişi olan büyük bir antiklinal bulunmaktadır. Antiklinalin çekirdeğinde Afyon Paleozoyik Grubu'na ait olan Kestel formasyonu bulunmaktadır. Antiklinalin KB ve GD kanatları üzerinde Karatepe, Derealanı ve Akdağ formasyonları yer almaktadır.

4.2.3. Bölgenin depremselliği

İnceleme alanı 1. dereceden deprem bölgesi içinde yer almaktadır (Şekil 4.4.). 2000 ve 2001 yılında Koçyiğit vd. tarafından yapılan çalışmalarda da belirtildiği gibi bölgenin en önemli deprem etkeni Sandıklı grabenidir. Sandıklı grabeni 3-9 km genişlikte, 34 km uzunlukta ve KKD- gidişli bir çöküntü alanıdır. Sandıklı grabenini sınırlayan fayların küçük ve orta büyüklükte deprem üretme potansiyeline sahip olması ve Sandıklı grabeni içindeki yerleşkelerin büyük çoğunluğunun graben kenar faylarının düşen tavan blokları (deprem anında en çok hasar ve can kaybının beklendiği alan) ve sıvılaşma potansiyeli olan zemin üzerinde kurulu olması nedeniyle yerleşim birimlerinde sık aralıklı ve çok katlı yapılaşmaya gidilmemesi önerilmiştir (Koçyiğit vd., 2000; 2001). Bu nedenle, Sandıklı grabeninin deprem riski taşıdığını ve graben kenarı ile içindeki her tür yapılaşmada depremselliğin dikkate alınması gerektiğini savunmuşlardır. Ayrıca, günümüzde Afyon bölgesinin deprem durumunu kontrol altında tutmak amaçlı T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Deprem Araştırma Dairesi tarafından Afyon-Bolvadin'de kurulan ve 2007 yılında açılan Ulusal Zayıf Hareket İstasyonu sayesinde bu bölgeye ait depremler düzenli olarak kaydedilmektedir. Bu istasyona ait bilgiler Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Çizelge 4.3.'de ise son istatistiklere göre bölgede olmuş depremler yer almaktadır.

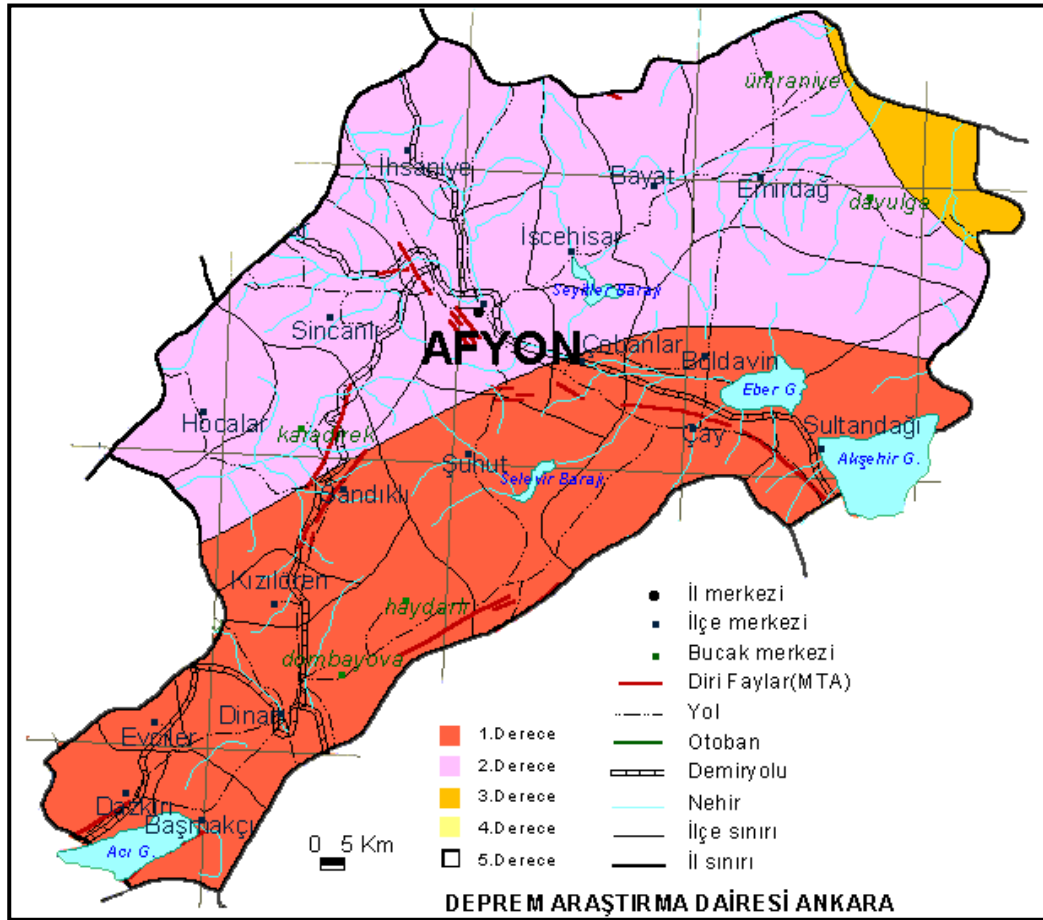
Çizelge 4.2. Afyon-Bolvadin'e ait ulusal zayıf hareket istasyonu verileri (Deprem Dairesi Başkanlığı, 2010)

Kod	Network	İl	İlçe	Tür	Enlem	N/S	Boylam	E/W	Yükseklik
-----	---------	----	------	-----	-------	-----	--------	-----	-----------

BOLV	ERD	Afyon	Bolvadin	BB-D	38.7138	N	30.9502	E	1303.00
------	-----	-------	----------	------	---------	---	---------	---	---------

Çizelge 4.3. Bölgede geçmişte yaşanmış depremler (Afyon İl Özel İdaresi, 2010)

İlçe	Köy/ Mahalle	Deprem Tarihi	MAG- Magnitüt Değeri (Ms)	Deprem Bölgesi
Kızılören	Merkez	1995	6,1	1
Kızılören	Türbelkavak	1995	6,1	1
Kızılören	Gülyazı	1995	6,1	1
Kızılören	Yenibelkavak	1995	6,1	1



Şekil 4.4. İnceleme alanına ait depremsellik haritası (AİÇHB, 2006)

4.3. Jeolojik Evrim

İnceleme alanında en yaşlı birim Afyon Paleozoyik Grubu'dur. Bu grubu oluşturan ve çoğunlukla şistlerle temsil edilen kayalar düşük derecede bölgesel metamorfizmaya uğramışlardır. Metamorfik kayaların üzerine gelen birimlerde

metamorfizmanın etkisi görülmemektedir. Dolayısıyla metamorfizmanın Paleozoyik zamanında gerçekleşmiş olduğu düşünülmektedir. Bu metamorfizma olayından sonra bölgede Permo-Triyas zamanlarında denizel bir havza meydana gelmiş ve buna bağlı olarak çakıltası, kumtaşı ve silttaşından oluşan Karatepe formasyonu çökelmiştir. Bu zamanda başlayan çökeltme Jura döneminde kireçtaşı, silttaşı, kiltası ve killi kireçtaşlarından oluşan Derealanı formasyonu ile devam etmiştir. Derealanı formasyonu üzerinde Kretase döneminde kalın bir karbonat çökeliği meydana gelmiştir. Üst Kretase'deki bu karbonat çökeliği sığ denizel ortamda başlayıp, derin denizel ortama kadar ulaşmıştır. Karbonat istifinin en üst kesimindeki derin denizel kireçtaşlarının çökeliğinden sonra Paleosen'de kiltaları, killi kireçtaşları, çörtlü kireçtaşları ve bunlar arasına yerleşmiş olan spilitlerden oluşan Bozoğlan formasyonu oluşmuştur. Permiyende başlayan sedimantasyon olayı Paleosen yaşlı Bozoğlan formasyonunun çökeliği ile son bulmuştur. Daha sonra su yüzüne çıkan bu birimler bölgede etkin olan sıkıştırma kuvvetlerinin etkisinde kalarak deformasyona (kıvrımlanma, faylanma) uğramışlardır. Çalışma alanında Oligosen döneminde, Paleosen yaşlı Bozoğlan formasyonu üzerinde karasal olarak başlayıp denizele geçen konglomeralar diskordans olarak çökelmiştir. Oligosen döneminden sonra karasallaşan bölge Miyosen döneminde gerilme kuvvetlerinin etkisinde kalmış ve büyük faylanmalar oluşmuştur. Bu büyük fayların etkisiyle bölgede öncelikli olarak tüf ve aglomeralardan oluşan bir volkanizma bölgede etkili olmuştur. Daha sonra ise aynı volkanizmaya bağlı olarak trakiandezit, trakit ve bazaltlardan oluşan lavlar meydana gelmiş ve alttaki tüm birimleri keserek yükselmişlerdir. Volkanizmadan sonra Pliyosen döneminde konglomera, kum, kil ve çakıllardan oluşan Hamamçay formasyonu karasal bir ortamda çökelmiştir. Bu oluşumdan sonra bölge KB-GD yönlü gerilme kuvvetlerinin etkisinde kalarak grabenleşmiş ve bugünkü KD-GB gidişli Sandıklı ovası gelişmiştir. Bu gerilmelere bağlı olarak oluşan ve ovayı sınırlandıran fayların etkisiyle bazı alanlarda traverten oluşumları meydana gelmiş ve bölge bugünkü morfolojik konumunu kazanmıştır.

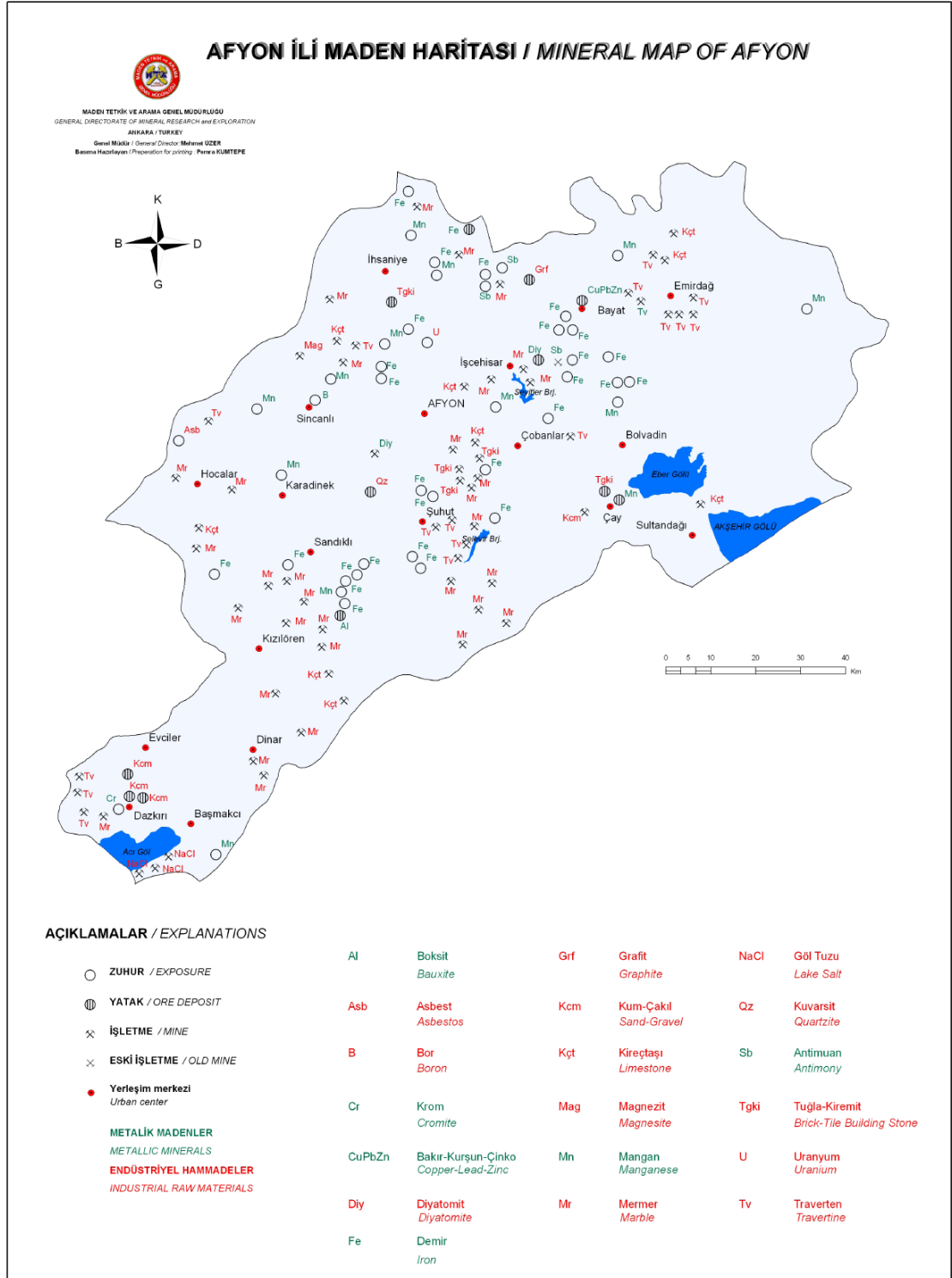
4.4. Ekonomik Jeoloji

Çalışma alanında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından zuhur, yatak ve işletme halinde olan metalik maden ve endüstriyel hammaddeler bulunmaktadır. Metalik maden bakımından inceleme alanındaki en önemli madenler demir (Fe) ve mangan (Mn) cevherleşmeleridir. Sincanlı bölgesinde bor (B), mangan (Mn) ve demir (Fe) madenleri zuhur halinde bulunmaktadır. Karadirek bölgesinde mangan (M) zuhur halinde, kuvarsit (Qz) yatak halinde ve diatomit (Diy) işletme halinde bulunmaktadır. Sandıklı bölgesinde demir (Fe) ve mangan (Mn) zuhur halinde, Alüminyum (Al) yatak halinde, Mermer (Mr) ise işletme halinde bulunmaktadır. Kızılören bölgesinde mermer (Mr) ve kireçtaşı (Kçt) işletme halinde bulunmaktadır (Şekil 4.5.). Bunun dışında özel sektör tarafından son yıllarda yapılan çalışmalarla Sandıklı ilçesi yakınlarında porfiri bakır yatağı bulunmuştur. Araştırmaların sürdürüldüğü bu sahadan önemli bir bakır potansiyeli beklenmektedir (MTA Genel Müdürlüğü, 2010).

Ayrıca inceleme alanında DSİ 18. Bölge Müdürlüğü, Karayolları 3. ve 13. Bölge Müdürlükleri tarafından işletilen çeşitli doğal malzeme ocak işletmeleri de bulunmaktadır. Bu madenler arasında kum ocağı, taş ocağı, toprak ocağı ve tuğla kiremit en yaygın olanlarıdır (Çizelge 4.4.).

Çizelge 4.4. İnceleme alanındaki maden kanunu' na tabi olan doğal malzemeler (AİÇDR, 2008)

Malzemenin (Ruhsatın) Bulunduğu Yer	Malzemenin Türü	İşletme Sahibi	Rezerv Miktarı
Sincanlı Taşoluk	Kum Ocağı	DSİ.18.Bölge Müdürlüğü	Bilinmiyor
Sandıklı Kuzcayaylası	Taşocağı	Karayolları 3.Bölge Müd.	Bilinmiyor
Sandıklı	Taşlıdere	Karayolları 3.Bölge Müd.	Bilinmiyor
Sandıklı Örenkaya	Ariyet	Karayolları 13.Bölge Müd.	Bilinmiyor
Sandıklı Kestelçayı	Kum Ocağı	Karayolları 13.Bölge Müd.	Bilinmiyor
Sandıklı Cuma Mah.	Taş Ocağı	DSİ.18.Bölge Müd.	Bilinmiyor
Sandıklı Selvi Tepesi	Toprak Ocağı	DSİ.18.Bölge Müd.	Bilinmiyor



Şekil 4.5. Afyon ili maden haritası (MTA, 2010)

4.5. Hidroloji

Hidrojeoloji çalışmalarda yeraltısuyunun kullanımını denetleyen en önemli faktör akifer birimler içerisinde bulunan suyun rezervidir. Yeraltısuyu rezervinin belirlenmesine yönelik araştırmalar hidrolojik parametrelerin tespit edilip birlikte değerlendirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Afyon-Sandıklı Havzası'nda yeraltısuyunun yaygın olarak tarım amacıyla kullanılması ve içme suyu kaynağı olarak da yeraltısuyundan yararlanılması sürdürülebilir emniyetli yeraltısuyu rezervinin tespitini gerekli kılmaktadır. Günümüzde yeraltısuyu rezervi konusunda yeterli çalışmanın bulunmaması ve aşırı su çekimine bağlı yeraltısuyu seviye düşümleri nedeniyle havzada kullanılabilir yeraltısuyu potansiyelinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla öncelikle havzada ölçülen meteorolojik veriler temin edilerek yeraltısuyu bilanço elemanları hesaplanmıştır.

4.5.1. Yağış

Genel olarak yeraltısularının en önemli beslenme kaynağı yağıştır. Afyon-Sandıklı Havzasına düşen ortalama yağış miktarının belirlenmesi için havza sınırları içerisinde ve civarında yeralan Devlet Meteoroloji istasyonlarında (DMİ) llen yıllık ortalama yağış verileri kullanılmıştır. İnceleme alanı ve yakın çevresinde şuhut, Dinar, Afyon, Sincanlı, Hocalar, Gümüşsu, Haydarlı, Kızılören ve Sandıklı yerleşim merkezlerinde bulunan gözlem istasyonlarında ölçülen yıllık ortalama yağış verileri kullanılmıştır. Bu gözlem istasyonlarına ait teknik özellikler izelge4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Afyon iline bağlı bazı devlet meteoroloji istasyonlarının teknik özellikleri
(<http://www.meteoroloji.gov.tr/2006/kurumsal/kurumsal-istasyonlar>)

NO	İSTASYON NO	ENLEM (K)	BOYLAM (D)	YÜKSEKLİK (m)	İSTASYON ADI
1	17829	3845	3033	1100	Şuhut
2	17862	3804	3010	864	Dinar
3	17190	3845	3032	1033,74	Afyon
4	5296	3845	3014	1100	Sincanlı
5	5466	3835	2958	1100	Hocalar
6	6146	3815	2959	950	Gümüşsu
7	6147	3816	3023	1150	Haydarlı
8	6864	3752	3207	1450	Kızılören
9	17794	3828	3016	1068	Sandıklı

Havzanın yakın civarında bulunan sadece Şuhut, Dinar ve Afyon meteoroloji istasyonlarında yaklaşık olarak 1975-2006 yılları arasında sürekli yağış ölçümleri yapılmıştır. Bu üç istasyonun verileri kullanılarak havzada gerçeğe en yakın ortalama yağış miktarının tespit edilmesi mümkün olmadığından farklı yıllarda daha az yıllık yağış verileri bulunan Sincanlı, Hocalar, Gümüşsu, Haydarlı, Kızılören ve Sandıklı meteoroloji istasyonlarında ölçülen yağış verileri de kullanılmak zorunda kalmıştır (Çizelge 4.6.). Araştırmada kullanılan yağış gözlem istasyonlarında elde edilen aylık yağış verilerinden eksik olanlar, en yakın üç ölçekteki yıllık ve aylık ortalama yağışlara göre bilinmeyen ölçekteki yağış yüksekliği aşağıdaki eşitlik (4.1) kullanılarak belirlenmiştir (Bayazıt, 2003).

$$P_x = \frac{1}{3} \left[\frac{N_x}{N_A} P_A + \frac{N_x}{N_B} P_B + \frac{N_x}{N_C} P_C \right] \quad (4.1)$$

Eşitliğe göre;

N_A, N_B, N_C : En yakın 3 ölçekteki yıllık ortalama yağışlar

P_A, P_B, P_C : Eksik olan yağışa karşı gelen okumalar

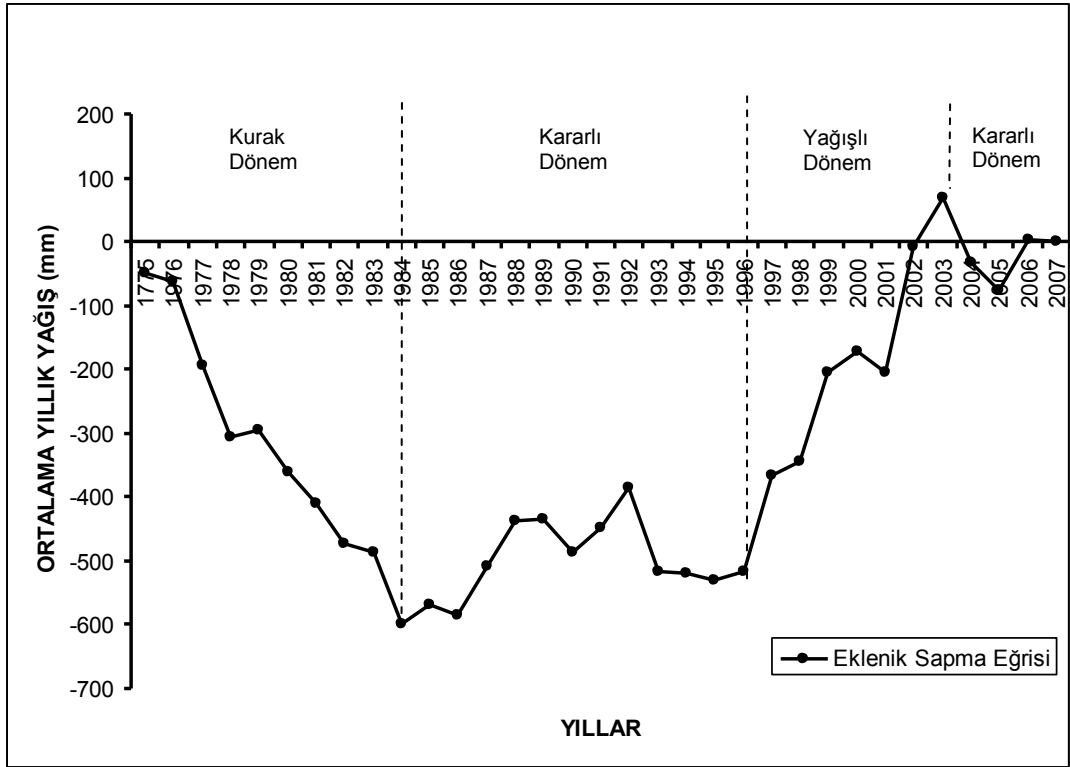
N_x : Bilinmeyen ölçekteki yıllık ortalama yağış

Çizelge 4.6. Afyon-Sandıklı havzası dolayındaki devlet meteoroloji istasyonlarına ait yıllık ortalama yağış verileri (mm)

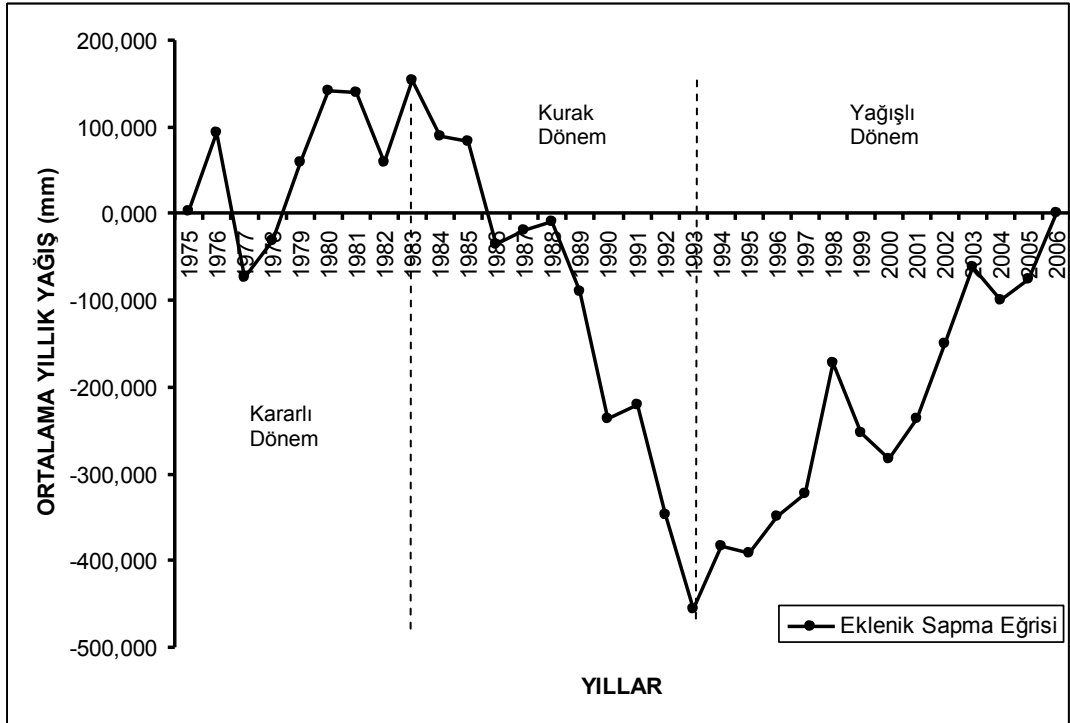
YAĞIŞ	DMİ	DMİ	DMİ	DMİ	DMİ	DMİ	DMİ	DMİ	DMİ
YILLAR	ŞUHUT	DİNAR	AFYON	SİNCANLI	HOCALAR	GÜMÜŞSU	HAYDARLI	KIZILÖREN	SANDIKLI
1975	366,5	451,20	433,70	631,90					553,6
1976	404,10	537,80	512,80	702,10					560,6
1977	285,50	281,70	318,90	411,50					340,0
1978	304,80	490,90	464,70	616,10					669,4
1979	428,00	539,30	472,40	655,00					620,1
1980	351,26	529,20	408,20	550,30					408,2
1981	367,90	447,10	374,10	630,70					505,8
1982	354,00	366,60	309,70	437,80					560,6
1983	403,10	542,70	447,80	605,70					496,9
1984	304,16	384,90	368,30	528,00				392,2	545,9
1985	446,20	441,50	422,00	574,50		374,3		386,1	524,0
1986	399,20	330,50	378,50	538,40		477,8		388,5	399,6
1987	493,08	463,40	451,60	423,20		627,8		469,9	430,4
1988	488,70	457,80	435,50	577,70	431,2	618,2		440,2	461,9
1989	419,70	368,60	339,00	349,40	346,7	311,1		372,0	370,3
1990	365,60	302,10	328,60	496,10	352,8	422,1		375,8	322,0
1991	454,60	463,70	526,00	529,90	458,4	599,8		423,0	490,9
1992	480,20	321,00	448,60	451,50	358,6	463,5		370,7	378,3
1993	285,40	340,70	345,60	433,60	375,2	352,4	388,8		369,3
1994	412,20	519,00	441,60	471,50	496,6		466,9		484,5
1995	407,50	441,60	369,20	445,90	474,5		455,6		498,8
1996	430,90	490,10	479,00	631,90	376,6		398,5		507,2
1997	567,20	473,90	456,90	702,10	342,5		414,3		325,2
1998	437,60	599,20	495,10	411,50			518,1		442,8
1999	554,60	367,70	440,10				502,3		
2000	450,83	416,94	442,00						
2001	383,10	495,37	463,22						
2002	615,80	535,70	474,10						
2003	491,70	535,30	440,00						
2004	316,12	410,44	271,10						
2005	371,55	472,50	394,00						
2006	497,70	523,50	475,00						
2007	413,20		408,40						
2008			395,10						
2009			475,50						
TOPLAM	13752,00	14341,95	14706,32	11060,80	4013,10	4227,30	3144,50	3618,40	11266,30
ORT.	416,73	448,19	420,18	526,70	401,31	469,70	449,21	402,04	469,43
YIL	33	32	35	21	10	9	7	9	24

4.5.1.1. Yağışların eklenik sapma grafikleri ile değerlendirilmesi

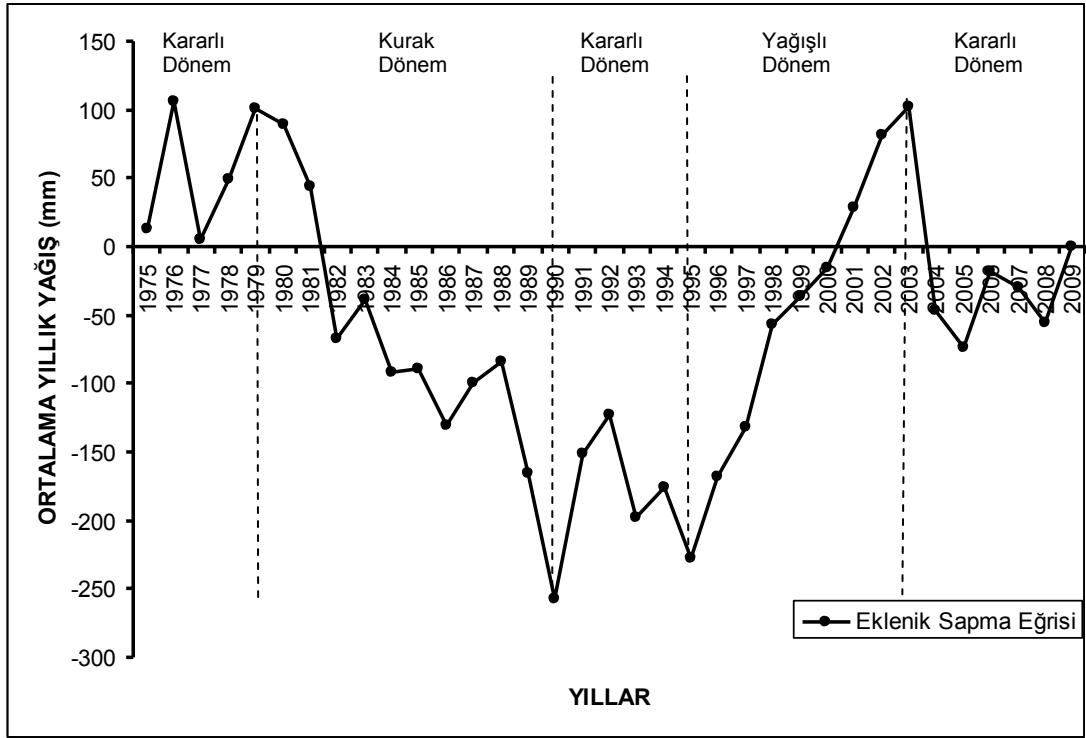
Bu araştırmada kullanılan DMI'larında ölçülen yıllık yağışların zamansal değişimlerinin belirlenmesi amacıyla ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma analizleri gerçekleştirilmiştir. Eklenik sapma analizlerinin gerçekçiliği veri aralığının çok olmasıyla doğru orantılıdır. Bu değerlendirmelerde Afyon, Şuhut ve Dinar DMI'larında 32 yıllık veriler irdelenmiştir. Bu istasyonlarda genel olarak 1994 yılından sonra yağışlı dönem gözlenmiştir (Şekil 4.6.,4.7.; 4.8.). Ortalama yağış miktarının belirlenmesinde kullanılan istasyonlarda Hocalar, Gümüşsu, Haydarlı ve Kızılören DMI'larında ise yaklaşık olarak onar yıllık veri bulunmaktadır. Bu istasyonlar için yapılan eklenik sapma analizi sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Havzanın merkezinde bulunan Sandıklı DMI'nda ise 24 yıllık veri bulunmaktadır. Bu istasyona ait eklenik sapma grafiğinde çevredeki diğer istasyonlardan farklı olarak 1996 yılından sonra kurak ve kararlı dönemler gözlenmektedir (Şekil 4.9.)



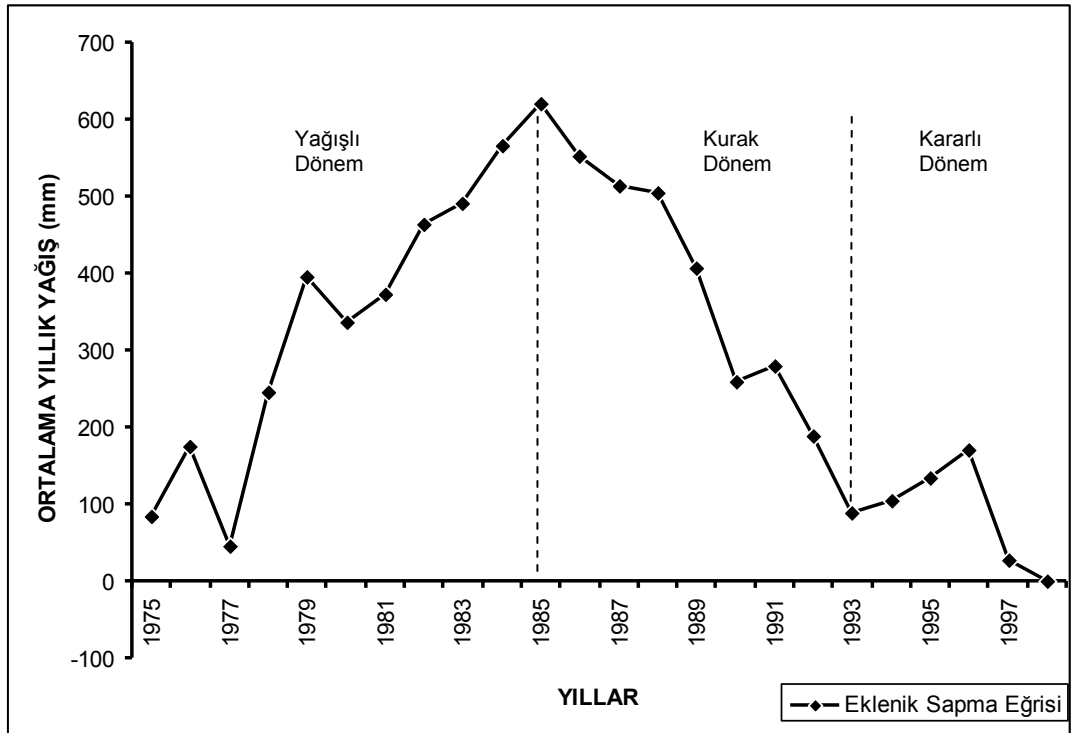
Şekil 4.6. Ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği (Şuhut DMİ)



Şekil 4.7. Ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği (Dinar DMİ)

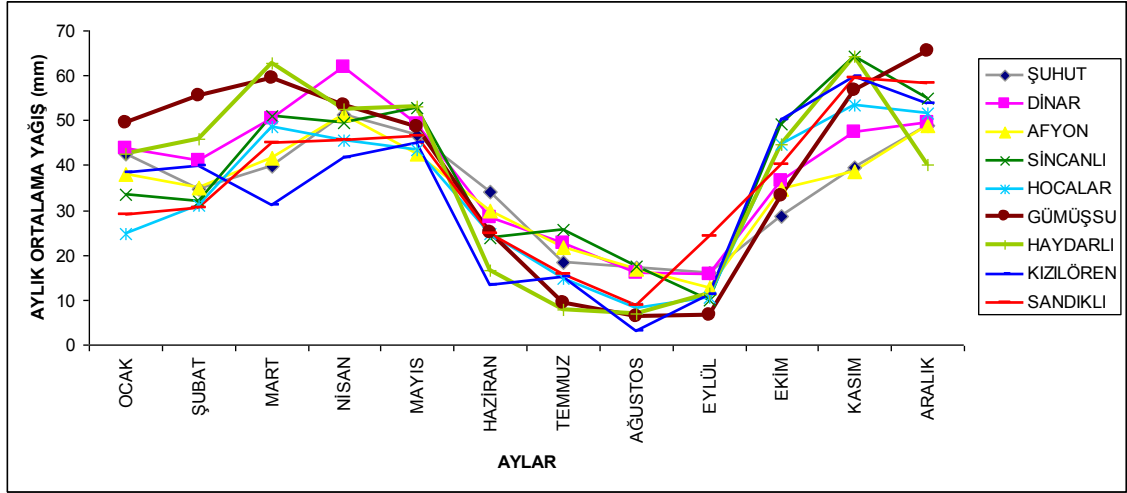


Şekil 4.8. Ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği (Afyon DMİ)



Şekil 4.9. Ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği (Sandıklı DMİ)

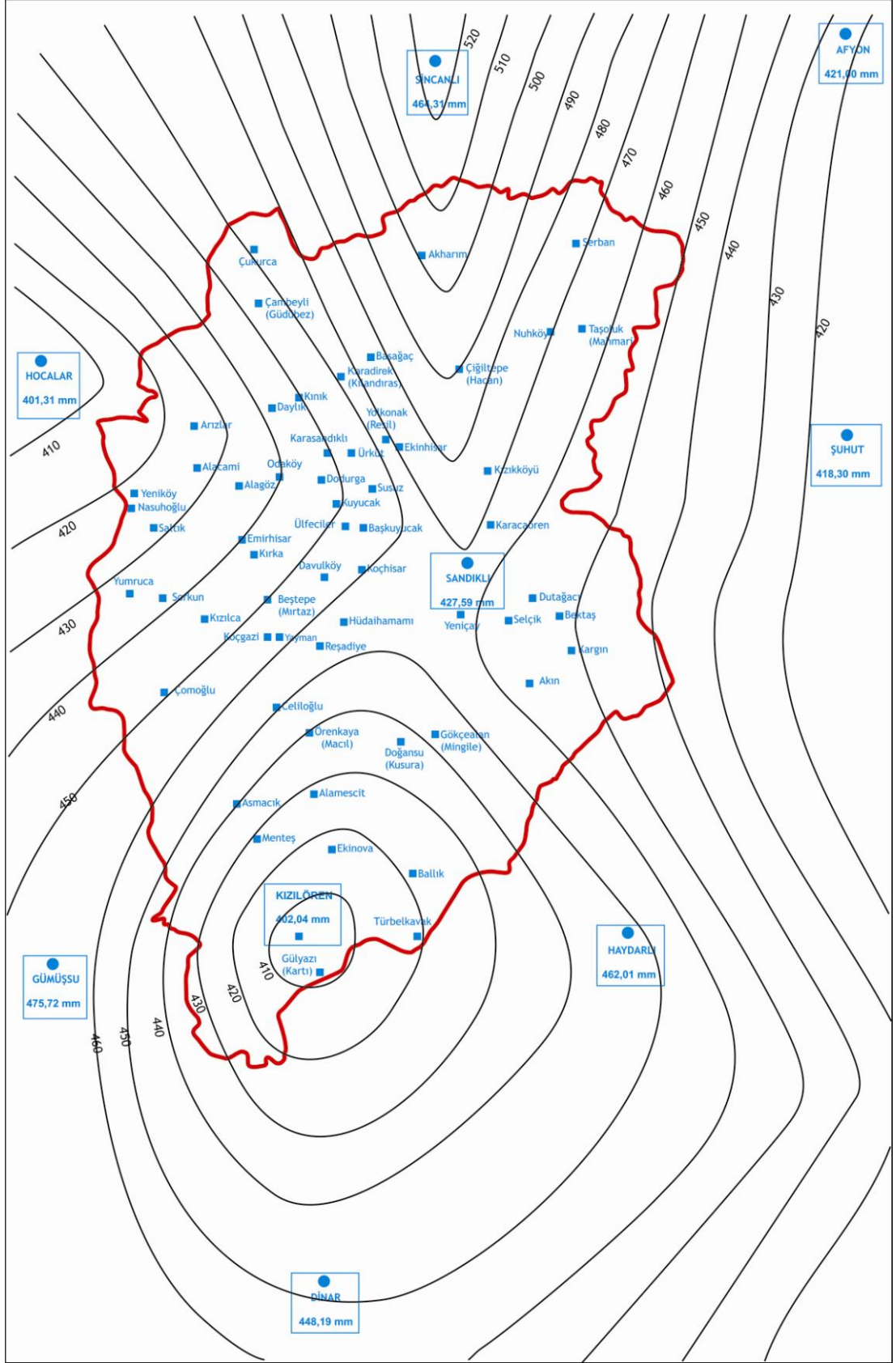
Havza içinde ve civarında bulunan 9 meteorolojik gözlem istasyonuna ait ortalama aylık yağış verileri değerlendirildiğinde ise birbirine paralel dağılımlar görülmektedir (Şekil 4.10.).



Şekil 4.10. İnceleme alanındaki DMİ istasyonlarında ölçülen aylık ortalama yağışın deneştirilmesi

Afyon-Sandıklı Havzası için ortalama yağış miktarının tayini Eş Yağış Eğrileri (İzohiyet) yöntemi kullanılmıştır. Yöntemde Çizelge 4.6.'da verilen 9 devlet meteoroloji istasyonlarına ait uzun dönem ortalama yıllık yağış verileri kullanılmıştır. Bu verilere göre elde edilen ortalama yıllık yağış miktarı 435,86 mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.11.).

1556 km²'lik yüzey drenaj alanına sahip Sandıklı (Afyon) havzasına düşen ortalama yıllık yağış miktarı; 435,86 mm'lik ortalama yıllık yağış ile 678,199 x 10⁶ m³/yıl olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.11. Çalışma alanına ait eş yağış eğrileri (izohyet) haritası

4.5.2. Sıcaklık

Havzada DMİ tarafından ölçülmüş uzun yıllara ait sıcaklık verileri elde edilmiştir. Bu verilere göre genel olarak bölgede sıcaklık değeri yaz aylarında (Ağustos) 26,2 °C'ye yükselirken, kış aylarında (Ocak) -6,8 °C'ye kadar düşmektedir. Bölgede uzun yıllara ait en düzenli sıcaklık verisi Afyon, Şuhut ve Dinar DMİ'lerinde ölçülmüştür. Afyon DMİ'nda 1975-2010 yılları arasında ölçülen ortalama sıcaklık değeri 10,5 °C, Dinar DMİ'nda 1975-2010 yılları arasında ölçülen ortalama sıcaklık değeri 12,34°C, Şuhut DMİ'nda 1976-2010 yılları arasında ölçülen ortalama sıcaklık değeri 8,08°C'dir. Sandıklı DMİ'nda sıcaklık ölçümü yapılmadığı için buharlaşma hesaplamalarında kullanılamamıştır.

4.5.3. Buharlaşma

Yeraltısuyu potansiyelinin hesaplamalarında genel olarak en önemli boşalım elemanı buharlaşma-terleme miktarıdır. Doğrudan ölçümü kolay olmayan bu parametrenin belirlenmesi amacıyla farklı ampirik formüller üretilmiştir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanları Thornthwaite ve Turc eşitlikleridir. Bu eşitlikler yardımıyla, çalışma alanına ait yağış ve sıcaklık verileri ile potansiyel buharlaşma-terleme miktarları hesaplanabilmektedir. Bu yöntemler için havzayı temsil edebilecek ve uzun dönem sıcaklık ve yağış verilerinin bulunduğu Şuhut, Dinar ve Afyon yerleşim merkezlerine ait Devlet Meteoroloji istasyonlarında 1975-2006 yılları arasında ölçülen aylık sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak potansiyel (Etp) ve gerçek (Etr) buharlaşma değerleri hesaplanmıştır. Thornthwaite ve Turc yöntemlerine göre her istasyon için ayrı ayrı yapılan hesaplamalara ek olarak, bu istasyonların havza dışında bulunması ve havza içinde bulunan diğer istasyonlarda uygun ölçümlerin olmaması nedeniyle Şuhut, Dinar ve Afyon DMİ'lerinde ölçülen yağış ve sıcaklık değerlerinin ortalama değerleri kullanılarak yeniden buharlaşma-terleme hesabı yapılmıştır ve genel bilanço hesaplaması için bu veri kullanılmıştır (Çizelge 4.7.; 4.8.; 4.9.; 4.10.; Şekil, 4.12.; 4.13.; 4.14.; 4.15.).

Thorntwaite yöntemi

Şuhut DMİ'na ait deneştirmeli su bilançosunda toplam ortalama yıllık yağış miktarı 416,73 mm, potansiyel buharlaşma (Etp) değeri 613,87 mm ve gerçek buharlaşma (Etr) değeri ise 353,46 mm olarak bulunmuştur (Çizelge 4.7.). Ayrıca, bu verilerden yararlanılarak yağış ve potansiyel buharlaşma grafiği hazırlanmıştır (Şekil 4.12.). Grafikte, Ocak ayından Nisan ayının sonuna kadar ve Kasım ile Aralık aylarında yağışın (P) potansiyel buharlaşmadan (Etp) fazla olduğu görülmektedir. Bu dönemlerde Etp, Etr'ye eşittir ve bu dönem için su fazlası 104,16 mm olarak hesaplanmıştır. 100 mm olarak kabul edilen zemin nem rezervi, Mayıs ayının başından Temmuz ayı başına kadar harcanmıştır. Temmuz ayı başından Ekim ayı sonlarına kadar gerçekleşen su noksanı ise 260,41 mm'dir. Tüm bu verilere göre; 416,73 mm olan yıllık yağışın 353,46 mm'lik kısmı buharlaşarak atmosfere dönmektedir. Şuhut DMİ için su fazlası yaklaşık olarak tüm yağışın % 25'i kadardır.

Dinar DMİ'na ait deneştirmeli su bilançosunda ise toplam ortalama yıllık yağış miktarı 448,19 mm, potansiyel buharlaşma (Etp) değeri 731,04 mm ve gerçek buharlaşma (Etr) değeri ise 377,97 mm olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.8.). Yağış ve potansiyel buharlaşma grafiğinde ise Ocak ayından Nisan ayının sonuna kadar ve Kasım ile Aralık aylarında yağış (P) potansiyel buharlaşmadan (Etp) fazladır Şekil 4.13.). Bu dönemlerde Etp, Etr'ye eşittir ve su fazlası 119,30 mm olarak hesaplanmıştır. 100 mm olarak kabul edilen zemin nem rezervi, Mayıs ayının başından Temmuz ayı başına kadar harcanmıştır. Temmuz ayı başından Ekim ayı sonlarına kadar gerçekleşen su noksanı ise 353,06 mm'dir. Tüm bu verilere göre; 448,19 mm olan yıllık yağışın 377,97 mm'lik kısmı buharlaşarak atmosfere dönmektedir. Dinar DMİ için su fazlası yaklaşık olarak tüm yağışın % 27'i kadardır.

Afyon DMİ'na ait bilançoda ise, toplam ortalama yıllık yağış miktarı 420,18 mm, potansiyel buharlaşma (Etp) değeri 696,60 mm ve gerçek buharlaşma (Etr) değeri ise 354,05 mm olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.9.). Ocak ayından Nisan ayının sonuna kadar ve Kasım ile Aralık aylarında yağış (P) potansiyel buharlaşmadan (Etp) fazladır (Şekil 4.14.). Bu dönem için su fazlası 99,41 mm olarak hesaplanmıştır. 100

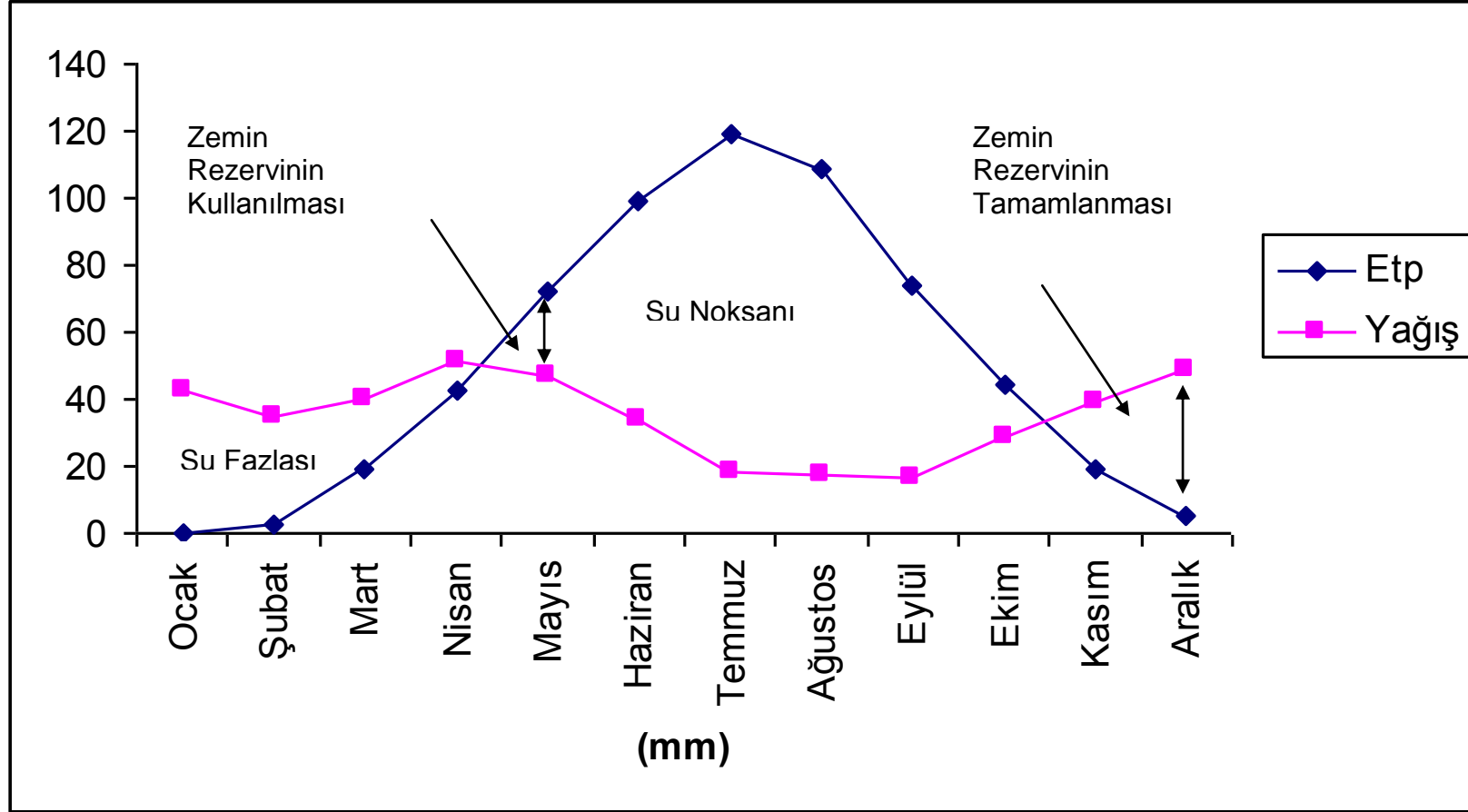
mm olarak kabul edilen zemin nem rezervi, Mayıs ayının başından Temmuz ayı başına kadar harcanmıştır. Temmuz ayı başından Ekim ayı sonlarına kadar gerçekleşen su noksanı ise 341,78 mm'dir. Tüm bu verilere göre; 420,18 mm olan yıllık yağışın 354,82 mm'lik kısmı buharlaşarak atmosfere dönmektedir. Afyon DMİ için su fazlası yaklaşık olarak tüm yağışın % 24'i kadardır.

Şuhut-Dinar-Afyon DMİ'lerinde ölçülen yağış ve sıcaklık verilerinin ortalama değerleri için hazırlanan deneştirmeli su bilançosunda toplam ortalama yıllık yağış miktarı 428,36 mm, potansiyel buharlaşma (Etp) değeri 674,62 mm ve gerçek buharlaşma (Etr) değeri ise 362,34 mm olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.10.). Bu veriler için hazırlanan grafikte Ocak ayından Nisan ayının sonuna kadar ve Kasım ile Aralık aylarında yağış (P) potansiyel buharlaşmadan (Etp) fazladır (Şekil 4.15.). Sözkonusu dönemde su fazlası 106,95 mm olarak hesaplanmıştır. 100 mm olarak kabul edilen zemin nem rezervi, Mayıs ayının başından Temmuz ayı başına kadar harcanmıştır. Temmuz ayı başından Ekim ayı sonlarına kadar gerçekleşen su noksanı ise 312,28 mm'dir. Tüm bu verilere göre; 428,36 mm olan yıllık yağışın 362,34 mm'lik kısmı buharlaşarak atmosfere dönmektedir. Ortalama değerler için hesaplanan su fazlası miktarı yaklaşık olarak tüm yağışın % 25'i kadardır.

Sonuç olarak 1556 km² büyüklüğündeki inceleme alanından ortalama 362,34 mm/yıl gerçek buharlaşma (Etr) değeri ile 563,801x10⁶ m³/yıl'lık su buharlaşma-terleme yolu ile boşalmaktadır.

Çizelge 4.7. Şuhut Meteoroloji İstasyonu için hazırlanan Thornthwaite Buharlaşıma-Terleme Bilançosu

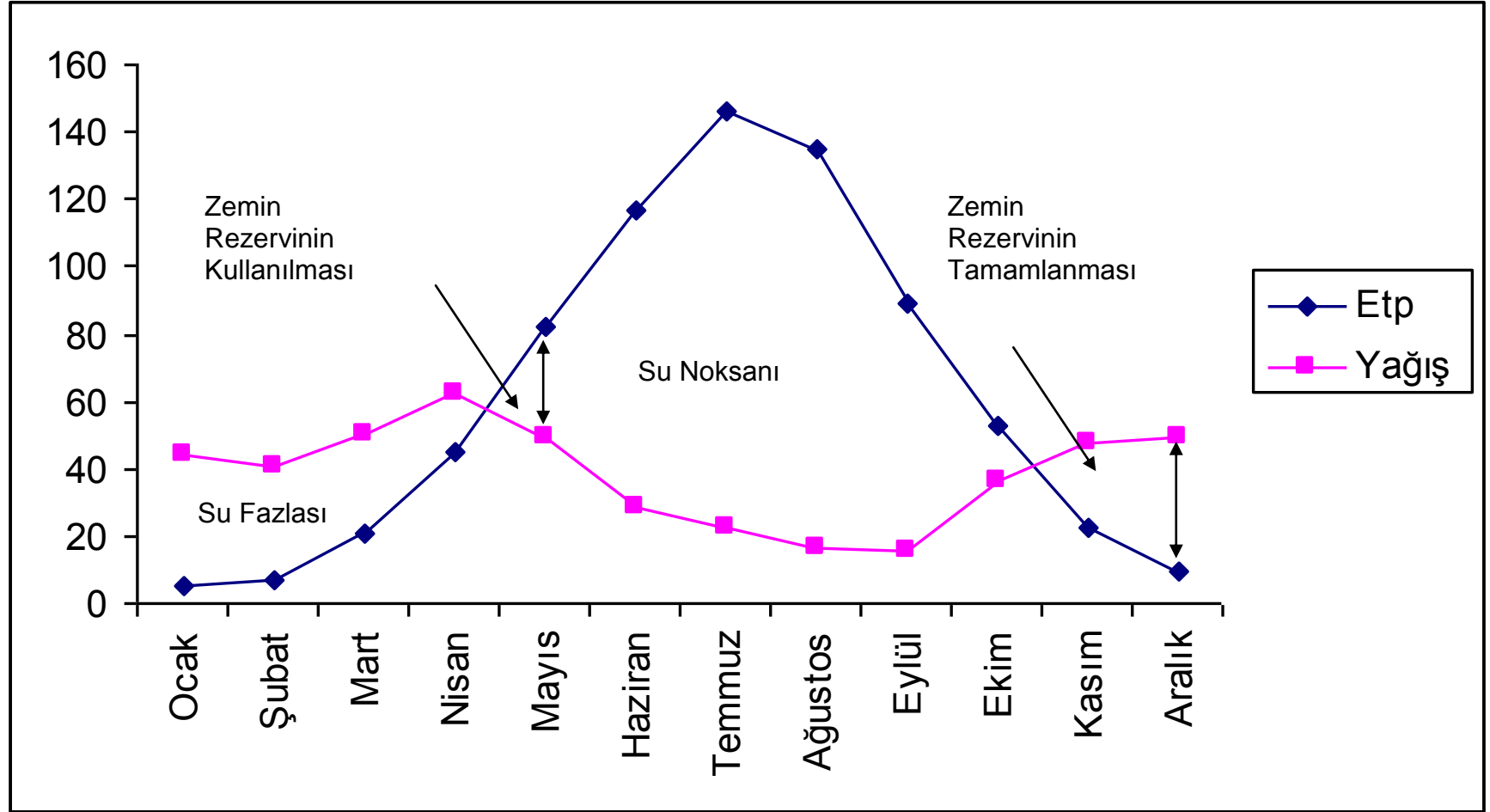
ŞUHUT (1975-2006)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Aylık sıcaklık (t)	0,00	0,86	4,31	8,65	12,52	16,71	19,65	19,15	14,94	10,13	5,14	1,64	113,70
Aylık endeks (i)	0,00	0,07	0,80	2,29	4,01	6,21	7,94	7,64	5,24	2,91	1,04	0,18	38,35
Etp (mm)	0,01	2,57	18,76	43,21	72,73	100,85	121,65	110,67	74,74	44,91	18,59	5,19	613,87
Yağış (mm)	42,68	34,71	39,80	51,43	46,85	34,08	18,43	17,33	16,09	28,56	39,50	48,86	416,73
Etr	0,01	2,57	18,76	43,21	72,73	100,85	29,57	17,33	16,09	28,56	18,59	5,19	353,46
Zemin Rezervi	100,00	100,00	100,00	100,00	76,94	11,14	0,00	0,00	0,00	0,00	20,91	64,38	
Zemin Rzrv. Değ.					-23,06	-65,79	-11,14				20,72	43,47	
Su Noksanı							92,08	93,34	58,65	16,34			260,41
Su Fazlası	42,67	32,14	21,03	8,21									104,06
Enlem Düz. Kat.	0,85	0,84	1,03	1,10	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04	0,96	0,84	0,83	



Şekil 4.12. Thornthwaite yöntemi yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği (Şuhut)

Çizelge 4.8. Dinar Meteoroloji İstasyonu için hazırlanan Thornthwaite Buharlaştırma-Terleme Bilançosu

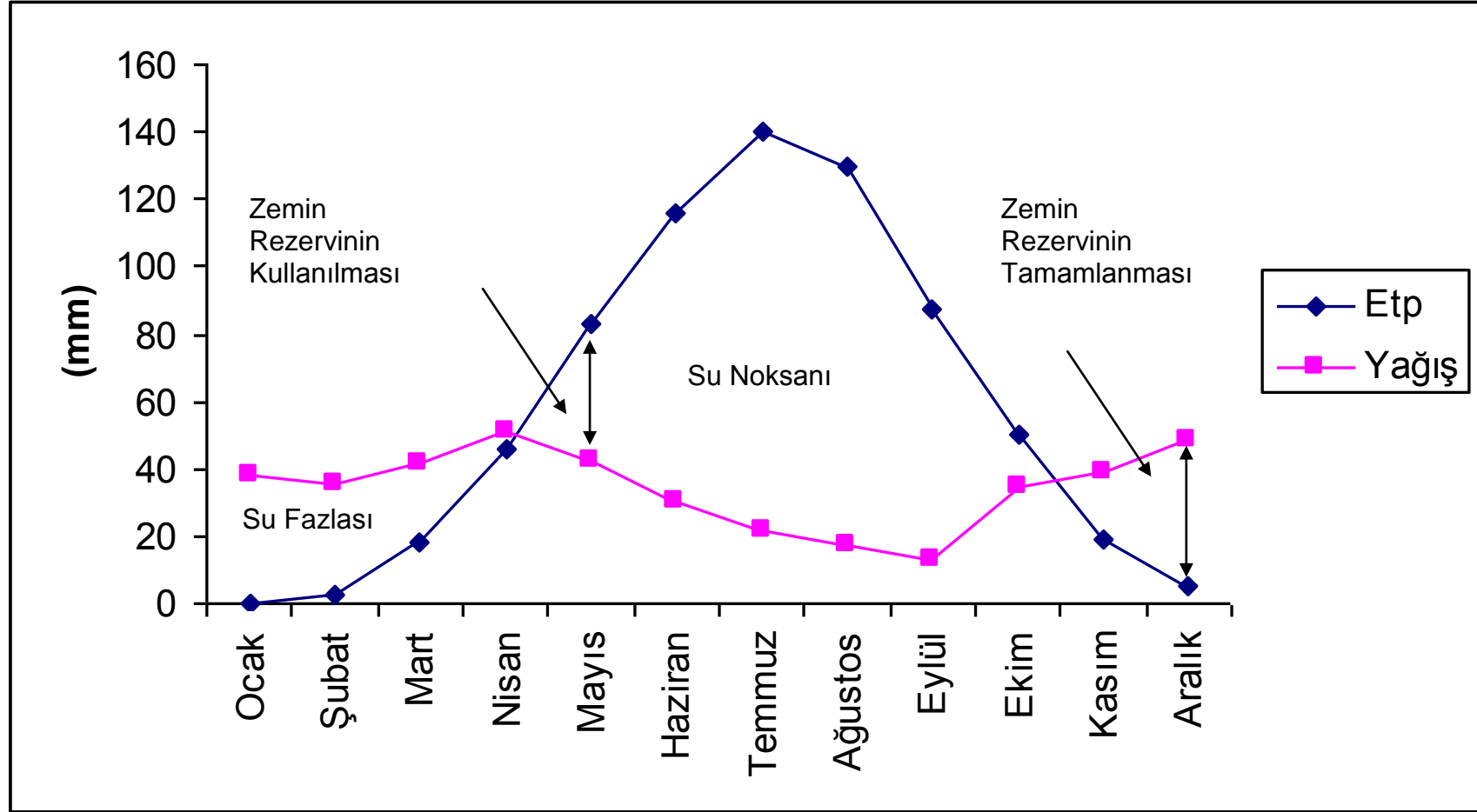
DİNAR (1975-2006)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Aylık sıcaklık (t)	2,82	3,55	6,61	11,12	15,85	20,35	23,82	23,55	19,02	13,72	8,21	4,49	153,12
Aylık endeks (i)	0,42	0,60	1,53	3,36	5,74	8,38	10,63	10,45	7,56	4,61	2,12	0,85	56,22
Etp (mm)	5,26	7,14	20,59	45,02	82,01	116,62	145,94	134,54	89,09	52,44	22,63	9,75	731,04
Yağış (mm)	43,89	41,05	50,50	61,87	49,33	28,45	22,63	16,03	15,68	36,56	47,29	49,36	448,19
Etr	5,26	7,14	20,59	45,02	82,01	94,66	22,63	16,03	15,68	36,56	22,63	9,75	377,97
Zemin Rezervi	100,00	100,00	100,00	100,00	66,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,66	64,27	
Zemin Rzrv. Değ.					-33,79	-66,21					24,33	39,61	
Su Noksanı						21,96	123,31	118,51	73,41	15,87			353,06
Su Fazlası	38,63	33,91	29,91	16,85									119,30
Enlem Düz. Kat.	0,85	0,84	1,03	1,10	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04	0,96	0,84	0,83	



Şekil 4.13. Thornthwaite yöntemi yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği (Dinar)

Çizelge 4.9. Afyon Meteoroloji İstasyonu için hazırlanan Thornthwaite Buharlaştırma-Terleme Bilançosu

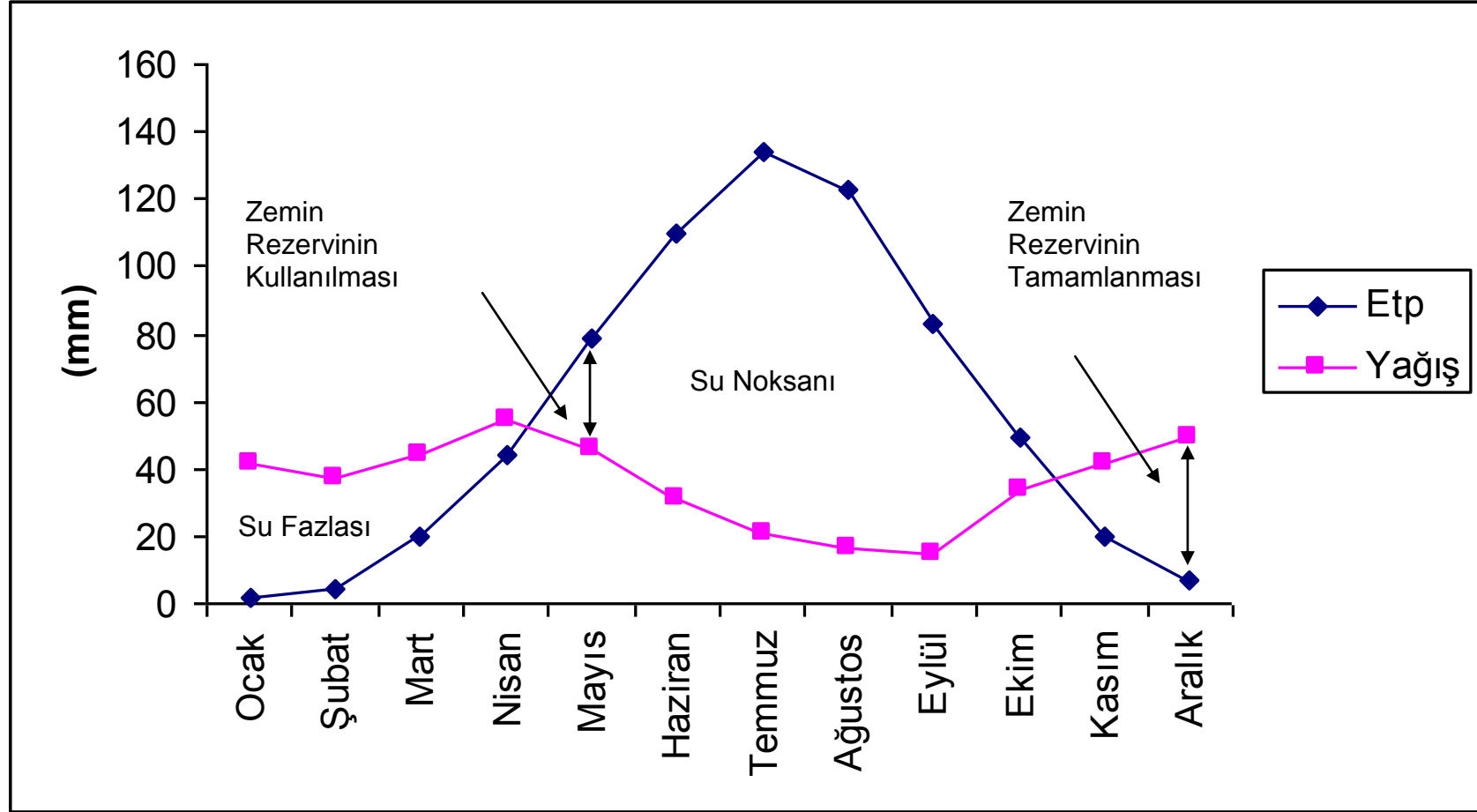
AFYON (1975-2006)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Aylık sıcaklık (t)	0,30	1,57	5,43	10,67	15,57	19,89	22,95	22,68	18,38	12,71	6,57	2,32	139,04
Aylık endeks (i)	0,01	0,17	1,13	3,15	5,58	8,09	10,04	9,87	7,18	4,10	1,51	0,31	51,16
Etp (mm)	0,35	2,91	17,79	45,69	83,46	115,63	140,37	129,43	87,57	50,04	18,61	4,77	696,60
Yağış (mm)	37,89	35,04	41,77	51,43	42,54	29,92	21,65	16,90	12,59	35,55	38,55	48,75	420,18
Etr	0,35	2,91	17,79	45,69	83,46	94,57	21,65	16,90	12,59	35,55	18,61	4,77	354,82
Zemin Rezervi	100,00	100,00	100,00	100,00	64,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,94	63,27	
Zemin Rzrv. Değ.					-35,35	-64,65					19,29	43,33	
Su Noksanı						21,06	118,72	112,53	74,98	14,49			341,78
Su Fazlası	37,55	32,14	23,98	5,75									99,41
Enlem Düz. Kat.	0,85	0,84	1,03	1,10	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04	0,96	0,84	0,83	



Şekil 4.14. Thornthwaite yöntemi yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği (Afyon)

Çizelge 4.10. Şuhut-Dinar-Afyon Meteoroloji İstasyonları için hazırlanan Thornthwaite Buharlaşıma-Terleme Bilançosu

Şuhut-Dinar-Afyon (1975-2006)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Aylık sıcaklık (t)	1,00	1,96	5,46	10,04	14,56	18,82	21,98	21,63	17,31	12,09	6,60	2,69	134,14
Aylık endeks (i)	0,09	0,24	1,14	2,88	5,04	7,44	9,41	9,18	6,55	3,80	1,52	0,39	47,70
Etp (mm)	1,94	4,45	19,51	44,50	79,00	109,65	134,13	123,04	82,85	48,90	20,13	6,50	674,62
Yağış (mm)	41,49	36,93	44,02	54,91	46,24	30,82	20,90	16,75	14,79	33,56	41,78	48,99	428,36
Etr	1,94	4,45	19,51	44,50	79,00	100,30	20,90	16,75	14,79	33,56	20,13	6,50	362,34
Zemin Rezervi	100,00	100,00	100,00	100,00	69,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,65	64,13	
Zemin Rzrv. Değ.					-30,52	-69,48					21,33	42,48	
Su Noksanı						9,36	113,23	106,29	68,06	15,34			312,28
Su Fazlası	39,55	32,48	24,51	10,41									106,95
Enlem Düz. Kat.	0,85	0,84	1,03	1,10	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04	0,96	0,84	0,83	12,38



Şekil 4.15. Thornthwaite yöntemi yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği (Şuhut-Dinar-Afyon)

Turc yöntemi

Havzada buharlaşma-terleme miktarının belirlenmesi için kullanılan diğer bir yöntem de Turc yöntemidir. Bu yönteme ait amprik eşitlik;

$$ETa = \frac{P}{\sqrt{(0,9+P^2/L^2)}} \quad (4.2)$$

Eşitliğe göre;

ETa= gerçek buharlaşma-terleme (mm)

P= yıllık ortalama yağış (mm)

$L=300+25T+0.05T^3$

T= yıllık ortalama sıcaklık (°C)'dir.

Turc yöntemine göre Afyon, Şuhut ve Dinar DMI'ye ait yağış ve sıcaklık verileri değerlendirilmiş ve gerçek buharlaşma miktarları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca, yine Thornthwaite yönteminde olduğu gibi ortalama veriler kullanılarak da hesaplama yapılmış ve ortalama buharlaşma hesaplanmıştır (Çizelge 4.11.). Thornthwaite ve Turc yöntemleri ile hesaplanan buharlaşma-terleme değerleri karşılaştırıldığında (Etr: 362,34mm ve ETa: 371,8mm) benzer sonuçların elde edildiği görülmektedir (Çizelge 4.11.). Sandıklı havzası için yeraltısuyu bilanço hesaplamasında Thornthwaite yöntemi ile hesaplanan gerçek buharlaşma-terleme değeri kullanılmıştır.

Çizelge 4.11. Gerçek buharlaşma miktarları

İstasyon	Gerçek Buharlaşma Miktarı (mm)	
	Thorntwaite Yöntemi	Turc Yöntemi
Afyon	353,46	369,84
Şuhut	377,97	348,77
Dinar	354,82	395,30
Ortalama	362,34	371,18

4.5.4. Akış

Havzanın en önemli yüzeysel akışı Kestel çayıdır. Havzanın güneyinde Karadirek olarak başlayan çay, kuzeye doğru devam ederek havzanın orta kısmında Hamamçay ismini almaktadır. Batıda ise Yumruca ve Saltık yerleşim alanlarının arasından geçerek havza sınırının dışına çıkmaktadır. Hamamçay'ın bir kolu kuzeye Kestel çayı olarak akmaya devam etmektedir (EK-3). Kestel çayı havza dışında Büyük Menderes nehrine bağlanmakta ve oradan da Ege denizine dökülmektedir. Havzanın yüzeysel akış vasıtasıyla boşalımı havzanın batısında bulunan Kestel çayı üzerine DSİ 18. Bölge Müdürlüğü tarafından kurulmuş olan akım rasat istasyonu ile düzenli olarak ölçülmektedir (Çizelge 4.12.). 1986-2010 yılları arası için ölçülen 25 yıllık ortalama yüzeysel akış ile boşalım $12,24 \times 10^6$ m³/yıl olarak belirlenmiştir (DSİ, 2010).

Çizelge 4.12. Kestel çayı su temin tablosu (DSİ, 2010)

Bölge				Isparta				İstasyon No			07-87		
Suyun Adı				Kestel Çayı				Yağış Alanı			46,2 km ²		
İstasyon Adı				Kızılca				Birimler			hm ³		
Su Yılı	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	TOPLAM
1986	0,05	0,31	0,76	3,36	3,78	1,23	0,47	0,18	0,26	0,08	0,02	0,03	10,53
1987	0,04	0,05	1,43	4,65	2,66	2,71	3,13	2,09	0,73	0,06	0,13	0,07	17,83
1988	0,09	0,27	0,90	0,74	1,96	5,32	3,84	1,03	0,75	0,04	0,09	0,02	15,05
1989	0,16	1,88	1,39	0,18	0,23	1,22	0,46	0,47	0,34	0,17	0,12	0,07	6,69
1990	0,07	1,66	2,44	0,68	0,63	2,48	1,25	0,48	0,15	0,05	0,00	0,00	9,90
1991	0,00	0,00	1,06	0,18	2,68	0,82	0,90	1,84	0,31	0,01	0,00	0,00	7,80
1992	0,00	0,00	0,38	2,88	3,85	2,27	2,85	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	12,29
1993	0,00	0,19	1,37	2,24	1,46	2,14	1,18	1,50	0,07	0,00	0,00	0,00	10,15
1994	0,00	0,07	0,50	0,85	1,53	2,43	4,38	2,57	0,01	0,00	0,00	0,00	12,34
1995	0,00	1,84	3,21	2,81	0,91	4,07	1,99	0,44	0,09	0,03	0,00	0,00	15,39
1996	0,02	0,82	1,88	1,88	5,40	2,35	2,39	0,52	0,06	0,02	0,02	0,00	15,35
1997	0,00	0,09	1,34	0,77	0,37	1,21	3,29	0,26	0,21	0,04	0,00	0,00	7,58
1998	0,03	0,16	1,45	0,66	1,92	4,43	3,68	1,45	0,31	0,00	0,00	0,00	14,09
1999	0,00	0,44	2,05	2,59	5,53	3,74	3,13	0,50	0,16	0,11	0,05	0,04	18,34
2000	0,01	0,10	0,01	0,05	1,23	3,12	3,17	1,83	0,34	0,02	0,04	0,02	9,94
2001	1,08	0,00	0,06	0,06	0,44	1,18	1,00	1,53	0,08	0,00	0,00	0,00	5,43
2002	0,00	4,97	11,7	2,77	1,01	3,59	4,35	0,48	0,09	0,01	0,01	0,02	29,00
2003	0,01	0,16	0,12	0,91	1,54	2,42	3,06	0,74	0,11	0,02	0,00	0,00	9,09
2004	0,00	0,00	1,15	3,22	2,94	1,57	0,86	1,06	0,10	0,01	0,00	0,00	10,91
2005	0,00	6,53	0,02	0,32	1,24	3,60	0,26	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	12,08
2006	0,00	0,15	0,31	0,43	3,45	4,06	0,93	0,38	0,05	0,00	0,00	0,00	9,76
2007	0,06	0,48	0,01	1,13	3,32	1,32	0,59	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	4,97
2008	0,00	2,45	2,89	0,06	0,09	2,11	1,98	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00	9,68
2009	0,00	0,54	0,08	3,48	5,78	5,07	3,02	0,38	0,06	0,00	0,00	0,00	18,41
2010	0,00	0,81	3,29	1,65	4,55	1,58	0,39	0,29	0,07	0,04	0,00	0,00	12,67
Toplam	1,62	23,98	39,90	38,64	56,26	66,04	53,12	20,39	4,44	0,78	0,47	0,27	305,91
Ortalama	0,06	0,96	1,60	1,55	2,25	2,64	2,12	0,82	0,18	0,03	0,02	0,01	12,24

4.5.5. Yeraltısuyu bilançosu

Belirli bir zaman aralığında, belirli bir saha veya sisteme giren, çıkan ve depo edilen su miktarlarının bir muhasebesinin çıkartılması işlemi su bilançosu olarak tanımlanmaktadır (Dumlu vd., 2006).

2008 yılında hazırlanan Afyon İli Çevre Durum Raporu'nda Afyonkarahisar il sınırları içerisinde yer alan ovaların yeraltısuyu işletme rezervuarları verilmiştir. Buna göre Sandıklı ovası için yeraltısuyu işletme rezervi $28,5 \times 10^6$ m³/yıl, Küçük Sincanlı ovası için ise $2,5 \times 10^6$ m³/yıl'dır (AIÇDR, 2008). Bu rapora göre genel olarak havzanın toplam yeraltısuyu işletme rezervi 31×10^6 m³/yıl olarak verilmektedir.

4.5.5.1. Beslenim

Sandıklı (Afyon) havzasının en önemli beslenim kaynağı olan yağış $678,199 \times 10^6$ m³/yıl olarak hesaplanmıştır (Bkz. Bölüm 4.5.1.). Havzanın diğer bir beslenim kaynağı ise tarım arazileri için havzaya baraj ve göletlerden verilen sulama suyudur. Havza içerisinde sulama amaçlı kullanılan 3 adet gölet ile 1 adet baraj bulunmaktadır. Bunlardan Örenler Barajı Sandıklı Kuruçay ovasında, Taşoluk ve Serban göletleri Küçük Sincanlı ovasında, Karacaören göleti ise iki ovanın birleştiği bölgede yer almaktadır. Bu su yapıları ile havzada yıllık olarak toplam 1859 ha'lık alan sulanmaktadır (Çizelge 4.13.). Sulama baraj ve göletlerden kanalet yolu ile sağlanmaktadır. Kanaletlerle sulama randımanı % 60 olarak kabul edilmektedir. Bu durumda sulamaya verilen suyun % 40'ı buharlaşmakta ve bitkiler tarafından kullanılmaktadır. Havza alanında yüzeyleyen jeolojik birimlerden Pliyosen Hamamçay formasyonu ve Kuvaterner alüvyon üzerinde sulama yapılmaktadır. Çimentosuz erimesiz kaya birimlerinden oluşan akifer ortamda gerçekleşebilecek süzülme miktarı, söz konusu birimlerde kil seviyelerinin sık sık gözlenmesi ve yer yer çakıl seviyelerinin de killi olması nedeniyle % 15 olarak kabul edilmiştir. Buna göre baraj ve gölet sulamalarından yeraltısuyu beslenim miktarı yaklaşık $1,27$ m³/yıl olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.13. Havzada yeralan baraj ve göletlerin sulama verileri (DSİ, 2007)

Yer	Çekilen Su Miktarı (hm ³)	Sulanan Alan (ha)	Sulanması Planlanan Alan (ha)
Karacaören Göleti	1064	270	360
Örenler Barajı	17335	1082	3874
Serban Göleti	1525	195	721
Taşoluk Göleti	1225	312	400
TOPLAM	21149	1859	5355

Havzanın diğer bir beslenim kaynağı ise ovadaki sondaj kuyularından çekilip tarım arazilerine verilen sulama suyudur. Havzada resmi ve şahıs olmak üzere 1150 kuyu bulunmaktadır. Ovada kuyulardan sulama amacıyla yıllık olarak debilerle (4,78-51,10 l/s) su kullanılmaktadır. Sondaj kuyuları vasıtasıyla ise genel olarak sulama işleminde yağmurlama yöntemi kullanılmaktadır. Sulama randımanı bu yöntem için % 70 olarak kabul edilmektedir (Çakmak, 2008). Toplam suyun % 20'si ise buharlaşmakta ve bitkiler tarafından kullanılmaktadır. Kalan suyun % 15'i ise beslenim olarak havzaya geri dönmektedir. Kuyulardan yıllık olarak $45,560 \times 10^6$ m³/yıl su çekilmekte ve $2,06 \times 10^6$ m³/yıl beslenim olarak havzaya verilmektedir.

4.5.5.2. Boşalım

Thornthwaite yöntemine göre ortalama değerler kullanılarak hesaplanan gerçek buharlaşma-terleme miktarı $563,801 \times 10^6$ m³/yıl olarak belirlenmiştir (Bkz. Bölüm 4.5.3).

Buharlaşmaya ek olarak havzadaki diğer bir boşalım elemanı sondaj kuyuları vasıtasıyla yeraltısu çekimidir. Havza içerisinde resmi kurumlar ve şahıslar tarafından açılmış yaklaşık olarak 1150 adet sondaj kuyusu bulunmaktadır. Kuyuların ortalama 27 lt/sn debi ile günde 10 saat ve yılda 75 gün çalıştığı varsayılarak, havzada sondaj kuyuları ile çekilen toplam yeraltısu miktarı $45,560 \times 10^6$ m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Isparta DSİ 18. Bölge Müdürlüğü tarafından Sandıklı havzasında açılan sondaj kuyuları için tahsis edilen yeraltısu miktarı ise

54 x10⁶ m³/yıl olarak belirlenmiştir (DSİ, 2010). Yüzeysel akış vasıtasıyla havza dışına boşalım 12,24 m³/yıl'dır (Bkz. Bölüm 4.5.4.).

Genel olarak değerlendirildiğinde havzada hesaplanan toplam beslenme (681,529 x 10⁶ m³/yıl) ile toplam boşalım (621,601 x 10⁶ m³/yıl) miktarları arasında 59,928 x 10⁶ m³/yıl'lık fark bulunmaktadır (Çizelge 4.14.). Ölçümlerde ve hesaplamalarda olabilecek hatalar dikkate alındığında emniyetli kullanılacak su miktarı bilanço farkının % 70'i alınmaktadır. Sandıklı (Afyon) havzasında dinamik su rezervi yaklaşık 42,10 x10⁶ m³/yıl bulunmuştur.

Çizelge 4.14. Sandıklı (Afyon) havzası su bilançosu

BESLENİM	(x10 ⁶) m ³ /yıl	BOŞALIM	(x10 ⁶) m ³ /yıl
Yağış	678,199	Buharlaşıma	563,801
Göletlerden sulama suyu	1,27	Kuyulardan çekim	45,56
Pompajla sulama suyu	2,06	Kestel Çayı boşalımı	12,24
Toplam	681,529	Toplam	621,601

Havzada yeraltısuyu üretimi Alüvyon ve Pliyosen Hamamçay formasyonlarından oluşan gözenekli akiferden sağlanmaktadır. Bu durumda, gözenekli akiferde yıllık su tüketimi açısından biriken su hacmi önem taşımaktadır. Bu amaçla farklı yıllar için yeraltısuyu seviye eş değişim haritaları kullanılarak gözenekli akiferin yeraltısuyu rezervi hesaplanmıştır.

Seviye değişimleri ortamın litolojisi, porozitesi ve permeabilite katsayısına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Ova genelinde seviye değişimleri 2007-2010 yılları arasında dönemsel olarak statik seviye ölçümleri ile takip edilmiştir. Bu ölçümlere göre statik su seviye değişimlerinin 0,43-25,7 m arasında olduğu belirlenmiştir (Bkz. Bölüm 4.6.4). Buna bağlı olarak 2007-2008, 2008-2009 ve 2009-2010 dönemlerine ait gözenekli akifer eş değişim haritaları hazırlanmıştır (Şekil 4.16.; 4.17.; 4.18.). Eş seviye değişim haritalarında her bölge için (I, II, III ve IV) seviye değişim değerlerinin farklı aralıklarda olduğu görülmektedir. Seviye değişimi I. bölge için 0-3 m, II. bölge için 3-6 m, III. bölge için ise 6-9 m ve IV. Bölge için >9 m'dir.

Eş seviye değişim haritalarında seviye değişim bölgelerinin alanları belirlenmiştir. Her alana ait efektif porozite miktarları Marotz (1968) tarafından geliştirilen eşitlik (3) ile hesaplanmıştır. Eşitlikteki permeabilite değerleri için, ovada açılan sondaj kuyularında yapılan pompa deneylerinden yararlanılmıştır.

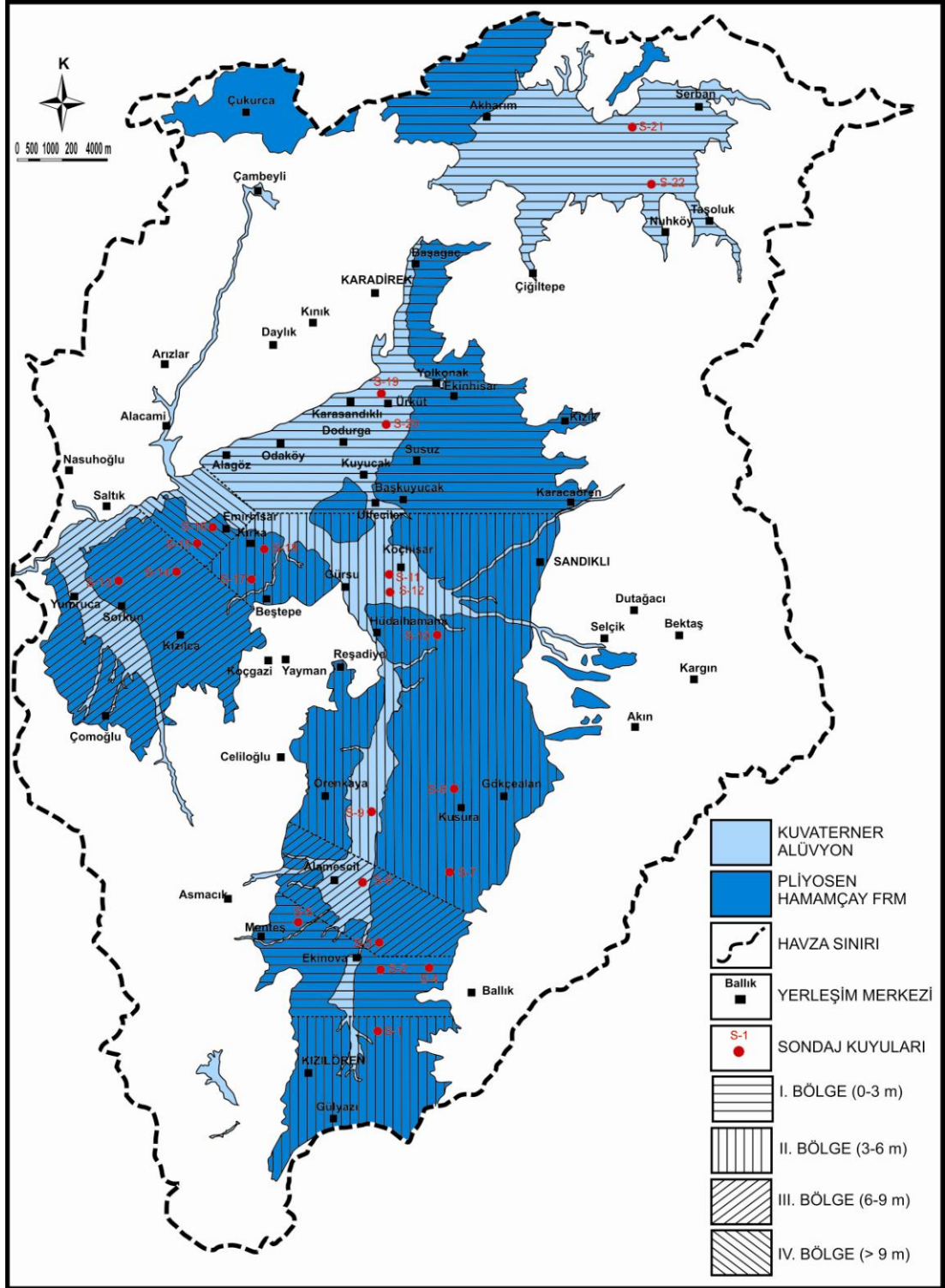
$$n_e = 0,462 + 0.045 \ln k_f \quad (4.3)$$

Havzadaki yeraltısu hacmi değişimi ise (4) no'lu eşitlik ile elde edilmiştir (Çizelge 4.15.).

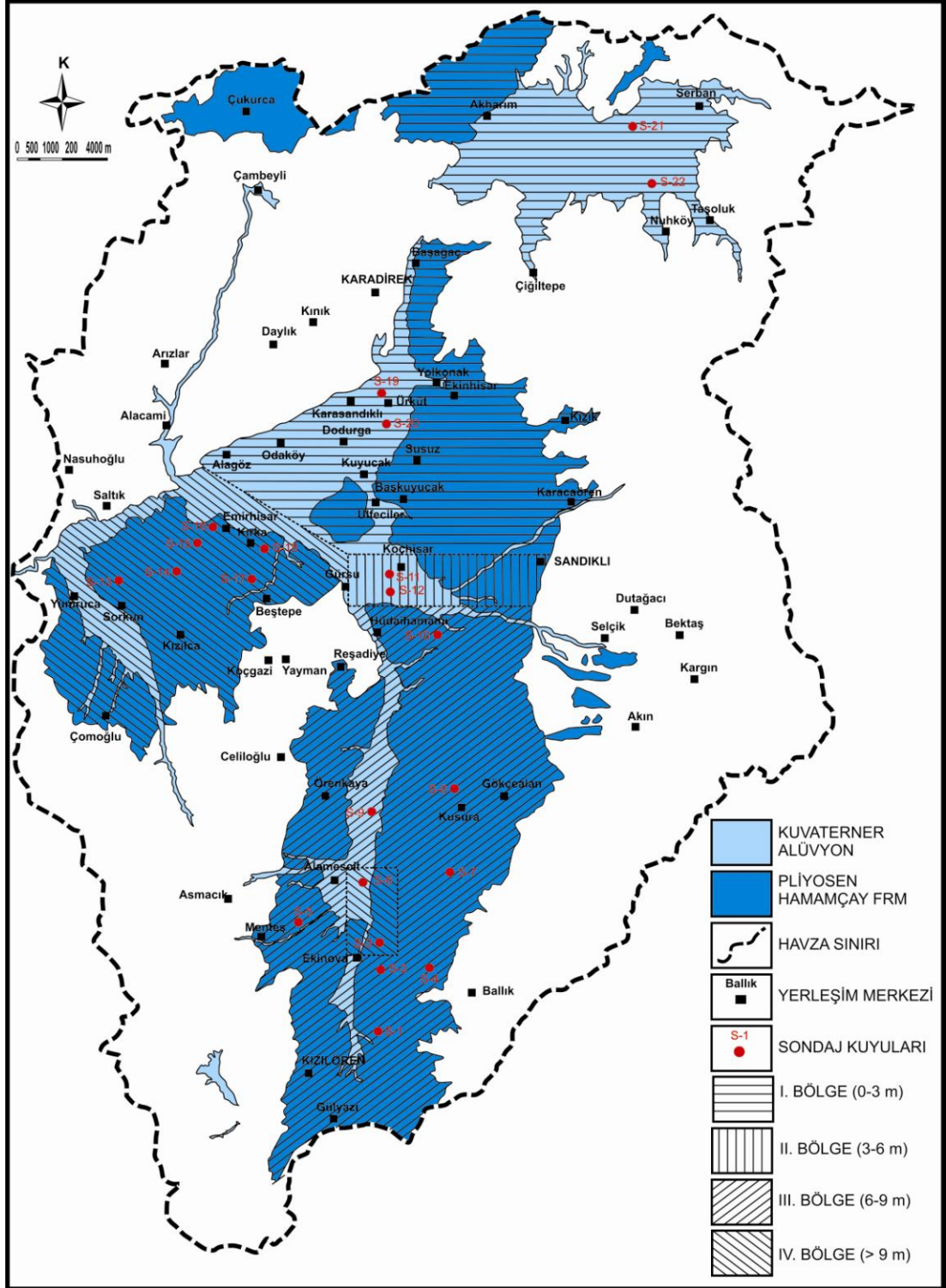
$$\text{Hacim} = \text{Alan} \times \text{Seviye değişimi} \times \text{Efektif porozite} (n_e) \quad (4)$$

Her üç döneme ait hesaplanan yeraltısu potansiyeli sırasıyla; $62,82 \times 10^6$ m³/yıl, $53,58 \times 10^6$ m³/yıl ve $48,52 \times 10^6$ m³/yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.15.). Ovada genel olarak hesaplanan dinamik su rezervinin 3 dönem ortalaması $54,97 \times 10^6$ m³/yıl olarak bulunmuştur (Çizelge 4.15.). Bu değer, % 70'i olan $38,48 \times 10^6$ m³/yıl gözenekli akifer için emniyetli yeraltısu potansiyelidir.

Bilanço hesaplamalarına genel olarak bakıldığında Sandıklı (Afyon) havzası için hesaplanan emniyetli kullanılabilir yeraltısu miktarının her iki bütçe yöntemi ile de yaklaşık olduğu görülmektedir. Günümüzde sondaj kuyuları vasıtasıyla çekilen yeraltısu miktarı olan $45,56 \times 10^6$ m³/yıl su, beslenme-boşalım farkının yaklaşık olarak % 75'ine karşılık gelmektedir. Bu değer, sondaj kuyularıyla çekilen su miktarının emniyetli kullanılabilir yeraltısu potansiyelinden fazla olduğunu göstermektedir. Ancak, havza alanında ruhsatsız kuyuların bulunduğu ve havzada gözlenen yeraltısu seviyelerindeki yüksek orandaki düşüm (< 25 m) değerleri dikkate alındığında havzada yeni sondaj kuyusunun açılmamasının gerekliliği görülmektedir. Mevcut sondaj kuyularından ise optimum kullanımın sağlanarak çekilen su miktarının düşürülmesi önem taşımaktadır.



Şekil 4.16. Ovadaki 2007-2008 dönemi yeraltısuyu seviyesi eş değişim haritası



Şekil 4.18. Ovadaki 2009-2010 dönemi yeraltısuyu seviyesi eş değişim haritası

Çizelge 4.15. Ovada seviye değişimine göre dinamik su rezervi

2007-2008					
Bölge	Efektif porozite (n _e)	Alan (km ²)	Seviye değişimi (m)	Permeabilite katsayısı (k _r -m/s)	Su potansiyeli (m ³ /yıl)
I	0,022	224,01	1,47	2,1 x 10 ⁻⁵	7,24 x 10 ⁶
II	0,053	159,61	3,85	0,1 x 10 ⁻⁴	32,57 x 10 ⁶
III	0,023	98,72	6,55	2,1 x 10 ⁻⁵	14,87 x 10 ⁶
IV	0,02	19,65	20,7	4,0 x 10 ⁻⁶	8,14 x 10 ⁶
				Toplam	62,82 x 10⁶
2008-2009					
Bölge	Efektif porozite (n _e)	Alan (km ²)	Seviye değişimi (m)	Permeabilite katsayısı (k _r -m/s)	Su potansiyeli (m ³ /yıl)
I	0,002	197,16	1,65	2,3 x 10 ⁻⁵	0,65 x 10 ⁶
II	0,013	7,14	4,86	1,9 x 10 ⁻⁶	0,45 x 10 ⁶
III	0,036	60,54	7,80	0,8 x 10 ⁻⁵	17,00 x 10 ⁶
IV	0,011	237,14	13,6	4,5 x 10 ⁻⁵	35,48 x 10 ⁶
				Toplam	53,58 x 10⁶
2009-2010					
Bölge	Efektif porozite (n _e)	Alan (km ²)	Seviye değişimi (m)	Permeabilite katsayısı (k _r -m/s)	Su potansiyeli (m ³ /yıl)
I	0,003	187,16	1,00	3,3E-05	0,56
II	0,015	18,28	4,86	4,8E-05	1,33
III	0,007	182,03	7,20	4,1E-05	9,17
IV	0,02	114,53	16,35	1,5E-05	37,45
				Toplam	48,52 x 10⁶
Yıl			Su potansiyeli (m ³ /yıl)		
2009-2010			48,52 x 10 ⁶		
2009-2008			53,58 x 10 ⁶		
2008-2007			62,82 x 10 ⁶		
Genel Ortalama			54,97 x 10⁶		

4.6. Hidrojeoloji

Yeraltı suları jeolojisi araştırmalarında çalışma alanında bulunan yüzey ve yeraltı sularının kullanılabilirliğinin değerlendirilebilmesi için öncelikle havzada bulunan su kaynakları tanımlanmalıdır. Bu nedenle, aşağıda Sandıklı havzasında bulunan yüzey ve yeraltı su noktaları tanımlanmıştır. Havzada kullanılabilir en önemli su rezervi yeraltı suyu olduğundan araştırma alanında bulunan jeolojik birimler su bulundurabilme kapasiteleri açısından değerlendirilmiştir. Ayrıca, akifer birimlerin hidrolojik parametreleri ve yeraltı su seviyesinin mevsimsel değişimi konuları da bu bölümde ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

4.6.1. Su noktaları

1556 km² yüzey drenaj alanına sahip çalışma alanında kaynak, yüzeysel akış, sondaj kuyuları, baraj ve göletler olmak üzere birçok su noktası bulunmaktadır.

4.6.1.1. Akarsular

Çalışma alanında drenaj alanı içerisinde kaynaklarla beslenen ve küçük derelerin birleşmesinden oluşan önemli akarsular bulunmaktadır. Bu akarsular mevsimlik olup kuru ve akar dere olarak ayrılmaktadır.

Akar dereler

Çalışma alanında bulunan akar dereler; Karadirek ayı, Taşkesik deresi, Kestel ayı ve Hamamayıdır (EK-3).

Karadirek ayı

Karadirek ayı, drenaj alanındaki kaynaklarla beslenen Taşkesik (Serban), Mahmari (Taşoluk), Nuhköy ve Tatarcık derelerinin birleşmesinden meydana gelmektedir. Nuhköy ve Taşoluk dereleri Afyon Sandıklı yoluna yakın bir yerde birleşir ve Karadirek ayı ismini alarak güneybatıya doğru akar. Karadirek ayı, Afyon-Sandıklı demiryolunun 1,5 km batısında yeralan Bilacı ayını ve Solaklar dağı güneyinden gelen Tatarcık deresini içine alarak devam eder. Ayrıca yaz aylarında

Afyon-Sandıklı şosesi köprüsünden itibaren DSİ artezyeni ile ova kenarlarından gelen küçük kaynak sularından ve Tatarcık deresinden beslenerek ovanın güneybatısındaki Karadirek boğazından (Başağaç boğazı) özellikle Eylül-Ekim aylarında Sandıklı ovasına geçmektedir (Tuzcu, 1974). Küçük Sincanlı ovası içinden doğan çay, Başağaç köyünden sonra Sandıklı ovasına geçmekte, Sandıklı ovasında Kestel Çayı ve Hamamçay ile birleşerek havza dışındaki Büyük Menderes nehrine dökülmektedir (EK-4). Yaz aylarında derelerin suyu çok azalmakta ve bir kısmı kurumaktadır. Bu dereler traki-andezitlerden çıkan kaynaklarla beslenmektedir ve çayın yağış alanı 270,8 km²'dir. (Tuzcu, 1974, Çizelge 4.16.). Karadirek çayı üzerine DSİ 18. Bölge Müdürlüğü tarafından 1986 yılında eşel kurulmuş ve 1993 yılına kadar akım rasat verileri kaydedilmiştir (Çizelge 4.17.). 1993 yılında ise çay üzerine sulama amaçlı olarak Örenler barajı inşa edildiği için bu eşel kapatılmıştır (Şekil 4.19.; EK-3).

Çizelge 4.16. Karadirek çayının özellikleri (AİÇDR, 2008)

İsmi	Karadirek Çayı
Havzası	Büyük Menderes Havzası
Yer	Başağaç
Yıllık ortalama akım	29,73 hm ³
Yıllık ortalama debi	0,94 m ³ /s
Suyun sınıfı	C ₁ S ₁ -C ₂ S ₁
Yaz aylarında durumu	Kuruyor
Kullanım durumu	Örenler barajını besliyor

Çizelge 4.17. Karadirek Çayı akım rasat bilgileri (DSİ, 2010)

Akarsu	Karadirek Çayı	Koordinat	X	383532 K
İstasyon Adı	Başağaç		Y	301230 D
İstasyon No	7-49		Z	1000 m
Ölçü No	Ölçüm Tarihi	Eşel Seviyesi		Debi Q (m ³ /sn)
		Başlangıç	Bitiş	
1	14.01.1986	16	16	0,995
2	05.03.1986	35	35	5,291
3	13.01.1987	31	31	4,088
4	13.02.1987	20	20	1,481
5	17.02.1987	28	28	3,231
6	04.01.1988	24	24	2,022
7	10.03.1988	33	33	4,719
8	18.03.1988	31	31	4,499
9	29.04.1988	24	24	2,333
10	21.12.1988	14	14	0,670
11	19.11.1989	66	66	15,013
12	18.04.1990	21	21	1,666
13	20.12.1990	12	12	0,533
14	19.02.1991	48	48	8,519
15	02.05.1991	31	31	3,250
16	25.12.1991	12	12	0,453
17	19.02.1992	23	23	1,832
18	26.02.1993	47	47	8,437
19	03.03.1993	46	46	8,357

Taşkesik deresi

Taşkesik deresi Küçük Sincanlı ovasında yer almakta ve Karadirek çayını beslemektedir (Çizelge 4.18.). Dere üzerinde sulama amaçlı Serban göleti yapılmıştır (Şekil 4.20.). Dere batıya doğru akışına devam ederken dereye Kırkpınar'lar mevkiinde Kırkpınar kaynakları katılmaktadır. Daha da batıda dere, Kulak dere, Çakal dere, Güvez dere ve Çandıra dere kollarını alarak Serban göleti mevkiine ulaşmaktadır. Taşkesik deresi için debi ölçümleri sadece 1971-1976 yılları arasında yapılmıştır. En yüksek debi 1971 yılı Mart ayında 61 l/s olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.19.; EK-3).

Çizelge 4.18. Taşkesik deresinin özellikleri (AİÇDR, 2008)

İsmi	Taşkesik Deresi
Havzası	Büyük Menderes Havzası
Yer	Serban
Yıllık ortalama akım	3,22 hm ³
Yıllık ortalama debi	0,10 m ³ /s
Suyun sınıfı	C ₁ S ₁ -C ₂ S ₁
Yaz aylarında durumu	Kuruyor
Kullanım durumu	Serban göleti besliyor

Çizelge 4.19. Taşkesik deresi debi ölçümleri ((DSİ, 1994).)

Akarsu	Taşkesik Deresi	
İstasyon Adı	Serban	
Ölçü No	Ölçüm Tarihi	Debi Q (l/sn)
1	09.03.1971	61
2	29.04.1971	35
3	23.06.1971	13
4	27.07.1971	9
5	31.08.1971	6
6	24.09.1971	5
7	18.10.1971	12
8	01.09.1976	7
9	15.09.1976	6
10	11.10.1976	5

Kestel çayı

Kestel çayı Sandıklı ovasında yer almaktadır. Kestel çayı, Sorkun köyü civarında güneyde Olluk tepesi ve Köpüren tepesinden doğmaktadır. Kuzeyde Karadirek çayı, güneyde Hamamçayı ile beslenen çay havza dışındaki Büyük Menderes nehrine dökülmektedir (Çizelge 4.20.). Derenin akışı doğudan batıya doğrudur. Çay gnays, mikaşist ve şistler içinde akmaktadır. Kestel çayı üzerine DSİ 18. Bölge Müdürlüğü tarafından 2007 yılında eşel kurulmuş ve halen düzenli olarak akım rasat verileri kaydedilmeye devam edilmektedir (Çizelge 4.21. ; EK-3).

Çizelge 4.20. Kestel çayının özellikleri (AİÇDR, 2008)

İsmi	Kestel Çayı
Havzası	Büyük Menderes Havzası
Yer	Kızılca
Yıllık ortalama akım	12,22 hm ³
Yıllık ortalama debi	0,39 m ³ /s
Suyun sınıfı	C ₁ S ₁ -C ₂ S ₁
Yaz aylarında durumu	Kuruyor
Kullanım durumu	Kızılca barajını besliyor

Çizelge 4.21. Kestel Çayı akım rasat bilgileri (DSİ, 2010)

Akarsu	Kestel Çayı	Koordinat	X	382320 K
İstasyon Adı	Kızılca		Y	300433 D
İstasyon No	07-87		Z	1067 m
Ölçü No	Ölçüm Tarihi	Eşel Seviyesi		Debi Q (m³/sn)
		Başlangıç	Bitiş	
1	03.10.2007	0,00	0,00	0,000
2	06.11.2007	0,15	0,15	0,408
3	15.11.2007	0,31	0,31	2,386
4	07.12.2007	0,25	0,25	1,584
5	15.01.2008	0,05	0,05	0,024
6	05.02.2008	0,06	0,06	0,043
7	06.03.2008	0,16	0,16	0,601
8	09.04.2008	0,23	0,23	1,288
9	07.05.2008	0,07	0,07	0,055
10	09.06.2008	0,05	0,05	0,016
11	07.01.2009	0,36	0,36	3,508
12	04.02.2009	0,30	0,30	2,252
13	26.02.2009	0,20	0,20	0,857
14	06.05.2009	0,15	0,15	0,458
15	04.11.2009	0,39	0,39	4,214
16	06.01.2010	0,16	0,16	0,589
17	04.02.2010	0,20	0,20	1,022
18	03.03.2010	0,20	0,20	0,965
19	05.04.2010	0,08	0,08	0,088
20	30.04.2010	0,14	0,14	0,382

Hamamçayı

Hamamçayı Sandıklı havzasının batısında yer almaktadır. Derenin akışı güneyden kuzeye doğrudur. Sandıklı ovası güneyinden önce Kızıl çay adı ile başlayan dere

daha sonra Maymun çayı adını alarak kuzeye doğru devam eder ve Hamamçayı adını alır. Emirhisar köyü kuzeyinde Karadirek deresi ile birleşir, diğer koldan Sorkun köyü kuzeybatısında Kestel çayı ile Birleştirme Boğazı ile birleşerek batıya doğru ovayı terk ederek devam eder ve Büyük Menderes nehri ile birleşerek Ege Denizine açılır. Dere yaz mevsimlerinde az su bulundururken yağışlı mevsimlerde feyezana yapmaktadır (EK-3).

Kuru dereler

İnceleme alanında yağışlı dönemlerde yada feyezana dönemlerinde akışa geçen birçok kuru dere yer almaktadır (EK-3). Bu derelerin köylere göre dağılımı şu şekildedir.

Kargın köyünde Karakaya dere bölgenin en verimli deresidir. Karakaya deresi, Terzigözü mevkiinden boşalan kaynakların oluşturduğu bir deredir. Yaklaşık debisi 7-8 l/s civarındadır. Ayrıca Sarp dere, İskender dere, Tülüce dere ve Bağlar dere Kargın köyüne ait kuru derelerdir. Bu dereler yağışlı ve feyezana dönemlerinde akışa geçmektedir (Kılıç, 1988; EK-3).

Kızılören köyünün güneybatısındaki dağlık kısımlardan çıkan Kara dere güneybatı-kuzeydoğu yönünde akmaktadır. Kara dere Boyalıhöyük tepeden sonra kuzeye döner ve güneydoğudaki dağlık kısımlardan çıkan Söğütözü dere ile birleşmektedir. Birçok yan dere ile birleşen Kara dere Kızılçay olarak Kızılören köyünü terk etmektedir. Kızılçay çok küçük debili kaynaklarla beslenir ve yağışlı mevsimlerde bol su taşır. Yağışların kesilmesinden sonra suyu azalarak kuru dere haline geçmektedir (DSİ, 1972; EK-3).

Yavaşlar kasabasında Akpınar kaynağının oluşturduğu Çingencioğlu dere 3 l/sn'lik debiye sahiptir. Güneybatıda Akışalan mevkiinde birkaç kaynağın oluşturduğu ve yaklaşık 3-4 l/s debili Karapınar dere bulunmaktadır. Kasabada Çapa dere, Kömi dere, Bostanpınar dere ve Eleman dere gibi kuru dereler de vardır. Bu dereler yağışlı dönemlerde akışa geçmektedirler (1988, Çeliker; EK-3).

Kızık köyü civarında bulunan Çamlık dere, Bağlar dere, Taşpınar dere ve Ilıca dere yağışlı periyotlarda akışa geçen kuru derelerdir (Afşar, 1989). Kuzeyden güneye doğru, Kozluca dere, Akçabadık dere, Büyükçeşme dere, Çömü dere, Kemikli dere, batıda ise Hatip çeşme dere, Elleroğlu çeşme dere, Hatap dere, Akçam çeşme dere, Alan çeşme dere Hocalar köyüne ait olan kuru derelerdir. Yağdıköy dere, Kuruçay ve Çırçır dere ise Kozvan köyüne ait kuru derelerdir (EK-3).

4.6.1.2. Baraj ve göletler

İnceleme alanında Devlet Su İşleri 18. Bölge Müdürlüğü tarafından sulama ve taşkın amaçlı kurulmuş birçok gölet ve baraj yer almaktadır. Bu barajlar Örenler barajı, Karacaören, Serban ve Taşoluk göletleridir. Bu baraj ve göletlere ait teknik özellikler Şekil 4.19; 4.20.; 4.21.; 4.22.'de verilmiştir. Örenler barajı ve Karacaören göleti Sandıklı ovasının, Serban ve Taşoluk göletleri Küçük Sincanlı ovasının tarım arazilerini sulamada kullanılmaktadır. Ayrıca, Sandıklı ovasının sulanması için Kestel barajı projesinin planlanması halen DSİ 18. Bölge Müdürlüğü tarafından sürdürülmektedir (EK-3).

Örenler barajı; Afyon ili Sandıklı ilçesi Başağaç köyünün 4,5 km kuzeyinde Derviş dağı ile Örenler sırtları arasında Karadirek çayı üzerindedir. Barajın sulama alanı 3874 ha olup, sulama sahaları Başağaç, Karadirek, Ürküt, Yolkonak, Dodurga, Odaköy ve Karasandıklı köylerinin ziraat arazileridir (DSİ, 1978). Örenler barajı ile ilgili teknik özellikler Şekil 4.19.'da verilmiştir.

Karacaören göleti; Gölet Afyon ili Sandıklı ilçesine bağlı Karacaören köyünün 300 m kuzeydoğusundaki Tilkilik deresi üzerinde kurulmuştur. Göletin sulama alanı 360 ha'dır. Gölet Karacaören yerleşim merkezine ait tarım arazilerini sulamak amaçlı kurulmuştur. Gölete kış aylarında boşa akan Karacaören deresi suları da derive edilmektedir (DSİ, 1990). Karacaören göleti ile ilgili teknik özellikler Şekil 4.20.'de verilmiştir.

Serban göleti; Afyon ili Sincanlı ilçesi Serban kazası sınırları içerisinde olup Serban'ın 2 km doğusundaki Serban deresinin bir kolu olan Taşkesik deresi

üzerindedir. Gölet Sincanlı ovasının 721 ha'lık alanını sulamaktadır (DSİ, 1994). Serban göleti ile ilgili teknik özellikler Şekil 4.21.'de verilmiştir.

Taşoluk göleti; Afyon ili Sincanlı ilçesi Taşoluk kasabasında yer almaktadır. Taşoluk kasabası Sincanlı ilçesine 28 km, Sandıklı ilçesine 6,5 km mesafededir. Gölet Taşoluk yerleşim merkezinin 700 m güneydoğusundaki Kepez deresi üzerindedir. Sulama sahaları Taşoluk yerleşim merkezinin batı ve kuzeybatısı yönünde uzanmaktadır. Gölet Sincanlı ovasının 400 ha'lık alanını sulamaktadır (DSİ, 1993). Taşoluk göleti ile ilgili teknik özellikler Şekil 4.22.'de verilmiştir.



Barajın Yeri	Afyonkarahisar - Sandıklı
Akarsuyu	Karadirek Çayı
Amacı	Sulama+taşkın
İnşaatın (başlama-bitiş) yılı	1987 - 1993
Gövde dolgu tipi	Toprak dolgu
Normal su seviyesi	1173,39 m
Normal su seviyesi yüzey alanı	3,661 km ²
Normal su seviyesi hacmi	26,278 hm ³
Minimum su seviyesi	1163,95 m
Minimum su seviyesi yüzey alanı	1,008 km ²
Minimum su seviyesi hacmi	4,70 hm ³
Barajın yüzey alanı	356 ha
Yıllık ortalama akım:	32,08hm ³
Yıllık ortalama debi	1,017 m ³ /s
Gövde hacmi	0,61 hm ³
Yükseklik (talvegden)	24,9 m
Normal su kotunda göl hacmi	26,278 hm ³
Normal su kotunda göl alanı	4,4 km ²
Sulama alanı	3 874 ha
Güç	MW
Yıllık Üretim	GWh
Suyun sınıfı	C1S1

Şekil 4.19. Örenler Barajı'nın görünümü ve teknik özellikleri (AİÇDR, 2008; DSİ Genel Müdürlüğü, 2009)



Göletin Yeri	Afyonkarahisar - Sandıklı
Akarsuyu	Karacaören Deresinden Derivasyonla
Amacı	Sulama
İnşaatın (başlama-bitiş) yılı	1995 - 1999
Gövde dolgu tipi	Zonlu Toprak dolgu
Depolama hacmi	1,13 hm ³
Aktif Hacim	1,107 hm ³
Ölü Hacim	0,023 hm ³
Yükseklik (talvegden)	25,7 m
Yükseklik (temelden)	29,75 m
Sulama Alanı	360 ha
Proje rantabilitesi	2,15
Normal su seviyesi	1200,00 m
Normal su seviyesi yüzey alanı	0,15 km ²
Normal su seviyesi hacmi	1,13 hm ³
Minimum su seviyesi	1184,35 m
Minimum su seviyesi yüzey alanı	0,011 km ²
Minimum su seviyesi hacmi	0,023 hm ³
Göletin yüzey alanı	15 ha
Yıllık ortalama akım	1,736 hm ³
Yıllık ortalama debi	0,055 m ³ /s
Suyun sınıfı	C ₁ S ₁

Şekil 4.20. Sandıklı-Karacaören Göleti'nin görünümü ve teknik özellikleri (AİÇDR, 2008; DSİ Genel Müdürlüğü, 2009)



Göletin Yeri	Afyonkarahisar - Sincanlı
Akarsuyu	Taşkesik deresi
Amacı	Sulama
İnşaatın (başlama-bitiş) yılı	1989 - 1995
Gövde dolgu tipi	Homojen Toprak dolgu
Depolama hacmi	3,35 hm ³
Aktif Hacim	3,143 hm ³
Ölü Hacim	0,207 hm ³
Yükseklik (talvegden)	26,5 m
Yükseklik (temelden)	28 m
Sulama Alanı	721 ha
Proje rantabilitesi	1,59
Normal su seviyesi	1269,90 m
Normal su seviyesi yüzey alanı	0,50 km ²
Normal su seviyesi hacmi	3,344 hm ³
Minimum su seviyesi	1257,10 m
Minimum su seviyesi yüzey alanı	0,067 km ²
Minimum su seviyesi hacmi	0,207 hm ³
Göletin yüzey alanı	48 ha
Yıllık ortalama akım	4,08hm ³
Yıllık ortalama debi	0,129 m ³ /s
Suyun sınıfı	C ₁ S ₁ -C ₂ S ₁

Şekil 4.21. Sincanlı Serban Göleti'nin görünümü ve teknik özellikleri (AİÇDR, 2008; DSİ Genel Müdürlüğü, 2009)



Göletin Yeri	Afyonkarahisar - Sincanlı
Akarsuyu	Kepez Deresi
Amacı	Sulama
İnşaatın (başlama-bitiş) yılı	1993 - 1998
Gövde dolgu tipi	Zonlu Toprak dolgu
Depolama hacmi	1,01 hm ³
Aktif Hacim	0,78 hm ³
Ölü Hacim	0,23 hm ³
Yükseklik (talvegden)	26,5 m
Yükseklik (temelden)	37,5 m
Sulama Alanı	400 ha
Proje rantabilitesi	1,57
Normal su seviyesi	1280,53 m
Normal su seviyesi yüzey alanı	0,127 km ²
Normal su seviyesi hacmi	1,053 hm ³
Minimum su seviyesi	1269,00 m
Minimum su seviyesi yüzey alanı	0,037 km ²
Minimum su seviyesi hacmi	0,154 hm ³
Göletin yüzey alanı	13 ha
Yıllık ortalama akım	2,858 hm ³
Yıllık ortalama debi	0,091 m ³ /s
Suyun sınıfı	C ₂ S ₁

Şekil 4.22. Sincanlı Taşoluk Göleti'nin görünümü ve teknik özellikleri (AİÇDR, 2008; DSİ Genel Müdürlüğü, 2009)

4.6.1.3. Kaynaklar

Çalışma alanında genellikle küçük debili olan kaynaklar yaygın olarak bulunmaktadır. Günümüzde de bu kaynakların çoğu kurumuş haldedir. Bu kaynakların köylere göre dağılımı şu şekildedir.

Kargın köyünün doğusunda Rahman Tepe'nin güney batısından traki-andezitlerden boşalan Söğütözü pınarı yaklaşık 6-7 l/s'lik debiye sahiptir. Güneybatıdaki tüflerden boşalan Sapakol pınarı ve Yeryıkığı pınarlarının debileri yaklaşık 2-2,5 l/s civarındadır. Kargın köyünün doğusundaki traki-andezitlerden boşalan Kapaklı pınarı ile tüflerden boşalan Taşoluk pınarının toplam 5 l/s'lik debisi vardır. Bu kaynaklar köyün içme suyu sağlanmaktadır (Kılıç, 1988). Günümüzde kaynak debisinin yetersizliği nedeniyle kullanılmamaktadır.

Kızılören köyü civarında Kretase yaşlı kalkerlerin kırık ve çatlak sistemlerinden çıkan birçok küçük debili (0,1-0,2 l/s) kaynak bulunmaktadır. Bunların suları kurak mevsimde kurumaktadır. Ayrıca, Kızılören köyünün 5 km batısındaki kalkerlerden boşalan Tavuk pınarı bulunmaktadır. Debisi 40-50 l/s civarında olup, köyün içme ve kullanma ihtiyacı buradan karşılanmaktadır (DSİ, 1972). Günümüzde kaynak kullanılmamaktadır.

Alamescit köyünün batısında Oktur tepenin güneydoğusunda resifal kireçtaşlarından boşalan Kocapınar kaynağı yer almaktadır. Kaynağın kışın 10 gözden, yazın ise tek gözden boşaldığı ifade edilmektedir. Kaynağın debisi ile ilgili bilgi bulunamamaktadır (Afşar, 1988).

Yavaşlar kasabasında kaynaklar genelde küçük debili olup, kuzeybatısında yer alan Akpınar kaynağı yaklaşık 3-4 l/s'lik debiye sahiptir. Pliyosen yaşlı birimlerden boşalan kaynak kasabaya içme suyu olarak tahsis edilmektedir. Bu bölgedeki Çapa çeşmesi de 0,5 l/s'lik debi ile Pliyosen birimlerden boşalmaktadır (1988, Çeliker).

Kızık köyüne ait çok sayıda kaynak grupları mevcut olup tamamı volkanitlerden boşalmaktadır. Kocayayla-Sarıköz-Sarıoluk kaynak gruplarının toplam debileri 25 l/s olup Çamlık dereden batıya akış göstermektedir. Armutcuktepe kaynaklarının debileri 1 l/s'dir. Koleli dere kaynaklarının toplam debileri 2-3 l/s olup aynı mevkide yeralan kaynaklar bir yerde toplanmaktadır. Yatakkaya-Küçüktepe kaynaklarının debileri 3 l/s olup kaynaklar Çamlık dereye dökülmektedir. Akçin dere kaynaklarının toplam debileri 10-15 l/s olup içme suyu olarak kullanılmaktadır (Afşar, 1989).

Soğuk su kaynakları

Karapınar kaynağı: Karapınar kaynağı, sandıklı ilçesinin 6 km güneydoğusunda, Killik sırtının kuzeybatısında eteklerinde yer almaktadır. Üst Miyosen yaşlı kireçtaşlarının 1160 m kotundan, KD-GB yönlü bir fay boyunca boşalımı olan kaynak kaptaj yapılarak çeşme şeklinde kullanılmaktadır (Afşin, 1991).

Karadere kaynağı: Kaynak Selçik köyünün 1,5 km güneyinde ve Karapınar kaynağının 3 km kuzeybatısında yer almaktadır. Kaynağın litolojisi gölsel kireçtaşları ve tüfler olup, 1122 m kotunda yaklaşık K-G yönlü normal bir fay boyunca açığa çıkmaktadır ve çeşme şeklinde kaptajı yapılmıştır (Afşin, 1991).

Taşoluk kaynağı: Taşoluk kaynağı, Kargın köyünün 1,5 km güneydoğusunda Dibekkaya Tepe'nin kuzeyinde yer almaktadır. Kaynağın bulunduğu alanda tabandan yukarıya doğru tüfler, gölsel kireçtaşları ile bol çatlaklı yer yer gevşek bazaltlar bulunmaktadır. Kaynak bu birimlerin 1400 m kotunda KD-GB yönlü normal bir fay boyunca boşalımını sağlamaktadır. Kaynak kaptaj edildikten sonra köyün içme suyunu karşılamak amaçlı depoya gönderilmektedir (Afşin, 1991).

Kızılca kaynağı: Kaynak Sandıklı yerleşim merkezinin güneybatısında ki Kızılca köyünün 1km kuzeydoğusunda yer almaktadır. Kaynak tüf, gölsel kireçtaşı ve Pliyosen yaşlı çakıltası, kum, kil seviyelerinden oluşan bir istifli katederek yüzeye çıkmaktadır. Birimler üzerindeki KD-GB yönlü bir fay boyunca 1118 m kotunda boşalımı olan kaynağın çeşme şeklinde kaptajı yapılmıştır (Afşin, 1991).

Yumruca kaynağı: Yumruca kaynağı, Sandıklı'nın batısında bulunan Yumruca köyünün 0,5 km kuzeydoğusunda ve 977 m kotunda yer alan bir vadi kaynağıdır. Kaynağın bulunduğu alanın tabanında Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar, Miyosen yaşlı kireçtaşları, Pliyosen yaşlı seviyeler ve alüvyon yer almaktadır. Kaynak kaptaj yapılarak çeşme haline getirilmiştir (Afşin, 1991).

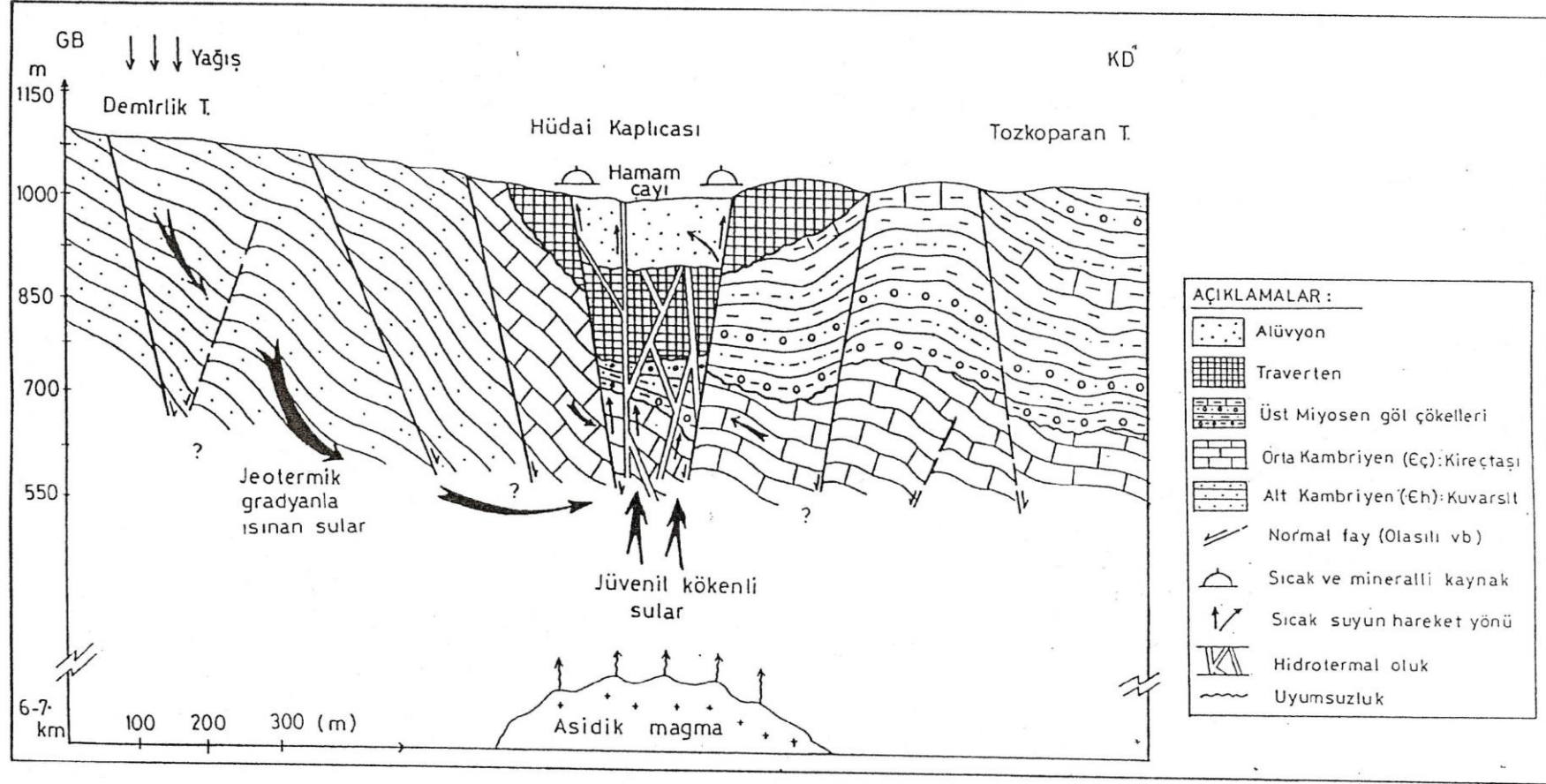
Sıcak su kaynakları

Hüdai sıcak ve mineralli su kaynakları: Afyonkarahisar ilinde dört ayrı jeotermal saha bulunmaktadır. Bu sahalar Ömer-Gecek, Gazlıgöl, Heybeli-Karaburun ve Sandıklı bölgeleridir. Afyon L24-b1 paftasında Hüdai mevkiinde ilk sıcak su çıkışları gözlenmiştir (Ronner 1956, Şamilgil 1964, Kozlu vd. 1995, Şentürk 1983, Afşin vd. 1996, Hamut vd. 2001, Şengüler 2001, Karamenderesi 2004-2005, AİÇDR 2008). Afyon'un güneybatısından 65 km mesafede, Sandıklı'nın batısından ise 8,5 km mesafede olan Sandıklı Hüdaihamamı jeotermal sahası, Sandıklı çöküntü havzasının ova kısmını oluşturan bir graben sistemi sonucu ortaya çıkmıştır.

Sandıklı ovasının Neojen çöküntü havzası, iki fay sistemi ile oluşmuştur. Bunlardan biri KKD-GGB doğrultulu, diğeri D-B yönlüdür. Genç Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı olan bu alan, bugünkü ova seviyesinden 1200 metreye kadar yükselmektedir. Ova iki kademedен oluşmaktadır. Alttaki kademe Pliyosen ve Kuvaterner, üstteki kademe ise Miyosenden meydana gelmiştir. Hüdaihamamı çevresinde Kuvaterner süresince kalker terasları çökelmiştir. Yükselme bakımından üç safha göze çarpmaktadır. Miyosen öncesi, Miyosen-Pliyosen sınırı ve Kuvaterner. Bu son safha içinde, yaklaşık 25 m seviyeli bir çöküntü zonu Hüdaihamamı civarında meydana gelmiştir. Ovanın ilk kademesinden sonra, ovanın doğu sınırında kendini gösteren bir çatlaktan trakitik-andezitik lavlar fişkırmış olup, bunlar şeritler halinde Miyosen ova gölü içine akmışlardır. Bu efüzyon, daha önceden ve daha sonra oluşmuş tüflerin taşınımı esnasında gerçekleşmiştir. Yeniden meydana gelen çatlaklar boyunca ve Pliyosen süresince bol silis asitli eriyik artıkları yükselerek, iki KKD-GGB şeridi halinde genç Paleozoyike ait şistleri silisleştirmişlerdir. Kuvaternerde Hüdaihamamı sıcak su kaynakları fişkırmış olup, bunlar çıkış ısı ve radyoaktivite tenörü bakımından orta termal ve postvolkanik bir safhaya sahiptirler (Ronner, 1956).

Sandıklı ilçesinde ilk olarak Hüdai kaplıca alanından boşalan sıcak ve mineralli su kaynakları kullanılmıştır. Günümüzde bu kaynakların debilerinin azalması ve ihtiyacı karşılamaması nedeniyle bu bölgede açılan derin sondaj kuyularından alınan sıcak suların yararlanılmaktadır. Kaplıca alanında tabandan üste doğru Alt Kambriyen yaşlı Hüdai formasyonuna ait kuvarsitler, Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe formasyonuna ait kireçtaşları, Üst Kambriyen-alt Ordovisiyen yaşlı Seydişehir formasyonuna ait şeyller, Üst Miyosen yaşlı Soğucak piroklastikleri ile Sandıklı lavlarına ait tüf, tüfit, trakiandezitler, Pliyosen yaşlı Hamamçay formasyonuna ait çakıltaşı, kumlu ve killi seviyeler ve Kuvaterner yaşlı alüvyon ile traverten birimleri yer almaktadır (Afşin, 1991; Şekil 4.23.). Tektonik olaylar sonucunda tabandaki kuvarsitler bol çatlaklı ve kırıklı özellik kazanarak ikincil gözenekliliğe sahip olmuştur. Kireçtaşları ise çok sayıda çözünme yapıları içerirler. Pliyosen kumtaşı ile çakıltaşı seviyeleri oldukça gözenekli yapıya sahiptirler. Alüvyon ise kumlu, çakıllı ve killi birimleri ile kaplıca alanının bulunduğu graben alanını doldurmuştur (Afşin, 1991). Hüdai sıcak ve mineralli su kaynakları, K-G ve D-B yönünde uzanan fayların kesişme noktalarından açığa çıkmaktadır. Travertenlerle sınırlanan ana fay kuşağı bir graben özelliğindedir. Traverten ve alüvyon ise graben alanını doldurmuşlardır. Hüdaihamamına ait sıcak su ise bu grabendeki faylar boyunca yükselerek yeryüzüne çıkmışlardır. Hüdai kaplıcası kaynaklarının hazne kayaçları kuvarsit ve kireçtaşlarıdır. Kaynakların hazne kaya sıcaklık değeri jeotermometreler ile 250 °C olarak hesaplanmıştır (Afşin, 1991).

Hüdaihamamı jeotermal sahası ile Sandıklı yerleşim merkezi termal turizm bakımından önde gelen bir merkez haline gelmiştir. Hüdai Kaplıcaları Turizm Bakanlığı'nca "Turizm Merkezi" ilan edilmiştir. Kaplıca merkezinde 328 yataklı 2 otel, 1700 yataklı villâlar ve çadır kentler mevcuttur. Çamur banyolarıyla ünlenmiş kaplıca, su banyosu ve içmeleri, doğal saunaları, belgeli tesisleri, apart villaları ve sosyal tesisleriyle bir kaplıca kolonisidir. Böylece iç ve dış turizme hizmet verilmektedir (Afyonkarahisar Valiliği, 2009). Ayrıca, jeotermal enerjinin kullanım alanlarının gelişmesine paralel olarak sadece termal amaçlı değil Sandıklı yerleşim birimi için 1998 yılından bu yana konut ısıtması için de kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 4.23. Hüdai kaplıcasının hidrojeolojik kesiti (Afşin, 1991)

4.6.1.4. Soğuk sondaj kuyuları ve sığ kuyular

Akiferlerin ovadaki yayılımını incelemek ve yeraltı jeolojisine açıklık getirmek amacıyla ovada farklı zamanlarda Isparta DSİ 18. Bölge Müdürlüğü, İl Özel İdaresi, İller Bankası ve şahıslar tarafından açılmış resmi/özel yaklaşık 1150 civarında sığ ve derin sondaj kuyusu bulunmaktadır. Bu çalışmada DSİ 18. Bölge Müdürlüğü tarafından açılan 107 adet kuyunun verileri elde edilebilmiştir. İnceleme alanında açılan bu sondaj kuyuları içme ve sulama amaçlı kullanılmakta olduğu için ovada geniş bir dağılıma sahiptir. Sondaj kuyularının derinlikleri 98-350 m arasında olup statik seviyeleri 1,6-35,56 m arasında, dinamik seviyeleri 5,84-88,64 m arasında değişmektedir. Ayrıca, bu sondaj kuyularında yapılan pompaj deneylerine göre ölçülmüş debileri 2-72 l/sn arasında değişmektedir.

Bu kuyulara ait hidrolojik ve hidrojeolojik özellikler EK-5’de, teknik özellikler ise Çizelge 4.22.’ de verilmiştir. EK-5’ de yer alan sondaj loglarında da görüldüğü gibi genel olarak sondaj kuyuları alüvyon, Hamamçay formasyonu ve Soğucak piroklastikleri üzerinde açılmıştır. Ovada en iyi su alınan birimler alüvyon, Hamamçay formasyonu, Soğucak piroklastikleri, Akdağ formasyonu ve Oligosen konglomasıdır. Alüvyon üzerinde açılmış toplam olarak 43 adet sondaj kuyusu bulunmakta ve bu kuyuların 29 adedinde tamamen alüvyon birimi kesilmiştir. Hamamçay formasyonu üzerinde 52 adet sondaj kuyusu açılmış olup, bu kuyularında 27 adedinde tamamen bu formasyon kesilmiştir. Ayrıca, ovada açılmış sondaj kuyularının 20 adedinde Menteş ve Ballık mevkiilerinde kireçtaşından oluşan Bozoğlan formasyonuna, havzanın güneyinde farklı lokasyonlarda açılmış 16 sondaj kuyusunda masif kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşından oluşan Akdağ formasyonu kesilmiştir. Havzanın doğusunda 7 sondaj kuyusu ile tuf-tüfit ve aglomeralardan oluşan Soğucak piroklastiklerinden, havzanın güneybatısında bulunan 5 adet sondaj kuyusunda ise Karatepe formasyonunun kumtaşı ve çakıltaşı seviyelerinden de su alınmaktadır. Havzanın doğusunda bulunan 4 adet sondaj kuyusunda trakiandezit ve bazalt birimlerinden oluşan Sandıklı lavları, havzanın kuzeybatısında yer alan 2 adet sondaj kuyusunda Oligosen kongloması kesilmiştir (EK-4; EK-5).

izelge 4.22. Havzada alüvyon üzerinde açılmış olan sondaj kuyularına ait teknik veriler

NO	YER	KUYU NO	KOORDİNAT		YÜKSEKLİK (m)	DERİNLİK (m)	STATİK SEVİYE (m)	DİNAMİK SEVİYE (m)	VERİM (l/s)	AÇILDIĞI TARİH
1	Alamescit	47602/B	2553375	4246875	1050	202	17,10	58,81	14,76	17.06.1997
2	Alamescit	47604	2553750	4247250	1038	202	11,60	51,36	20,69	14.07.1997
3	Ekinhisar	52323	2557100	4267625	1020	150	9,87	88,64	10,10	17.11.1997
4	Ekinhisar	52322	2557000	4267875	1010	150	9,24	50,76	21,13	21.11.1997
5	Ekinhisar	58038	2556988	4268375	1005	200	11,25	49,73	34,58	12.09.2003
6	Ekinova	26779	2554459	4243640	1060	350	10,20	59,17	7,44	04.10.1979
7	Ekinova	30522	2553500	4242975	1049	350	1,60	42,48	4,78	17.05.1983
8	Ekinova	26778	2554666	4244162	1060	172	10,70	32,75	9,10	03.09.1979
9	Ekinova	26781	2550493	4244613	1050	120	3,35	51,58	8,07	19.10.1981
10	Gökçealan	25597	2560449	4251192	1063	188	9,39	30,04	14,19	10.12.1981
11	Gökçealan	25596	2559709	4250604	1089	190	2,25	26,98	51,10	09.11.1981
12	Gökçealan	25595	2560124	4250889	1089	180	2,95	28,50	27,12	17.12.1979
13	Gökçealan	48014/B	2559750	4251500	1050	144	2,00	63,04	12,30	13.11.1996
14	Kırka	58001	2549326	4261544	981	185	13,10	54,20	31,22	07.09.2003
15	Kırka	49440	2548750	4261100	1002	150	20,00	71,36	12,30	07.08.1996
16	Koçhisar	21364	2554872	4259160	1007	100	3,50	31,50	17,60	24.07.1977
17	Koçhisar	42723	2555260	4260775	990	123	8,00	49,10	33,05	13.12.1991
18	Koçhisar	21363	2553995	4259742	1000	98	2,50	25,60	30,27	13.07.1977
19	Koçhisar	42724	2555475	4261075	995	122	4,11	49,10	29,02	27.12.1991
20	Koçhisar	21365	2555064	4259700	1005	104	3,90	14,70	36,83	17.11.1977
21	Koçhisar	21366	2555161	4260264	1048	104	5,02	27,55	34,58	11.11.1977
22	Koçhisar	53666	2554550	4259575	1004	123	5,25	41,15	20,69	08.08.1998
23	Kuyucak	58337	2551780	4263300	989	175	3,93	43,94	15,32	10.11.2004
24	Kuyucak	30180	2553750	4264500	1004	200	3,40	37,16	13,56	30.11.1983
25	Kuyucak	56863	2552110	4263575	950	175	9,00	70,46	13,12	26.10.2001
26	Kozvan	56864	2551400	4263650	955	175	10,85	79,14	12,30	02.08.2003
27	Kozvan	50530	2552020	4262350	990	125	2,36	49,64	25,30	28.10.1996

Çizelge 4.22. (devam)

28	Kozvan	39457	2552600	4264500	980	120	0,25	32,20	50,46	24.07.1991
29	Kozvan	56862	2552100	4263400	950	175	4,00	55,80	18,40	13.07.2003
30	Örenkaya	25601	2554234	4250131	1020	222	2,75	38,63	48,57	18.11.1979
31	Örenkaya	25598	2553297	4250244	925	200	2,5	24,32	27,12	03.09.1981
32	Örenkaya	43291	2553875	4249525	1032	200	7,05	42,83	25,30	05.09.1993
33	Örenkaya	53096	2553825	4249475	1031	200	3,65	51,45	48,57	01.05.1998
34	Sandıklı	14932	2558425	4257825	1038	151	27,22	52,55	34,58	07.11.1970
35	Sandıklı	14927	2557200	4257375	1025	165	35,56	65,25	36,08	15.09.1970
36	Sandıklı	47852	2557875	4257450	1028	160	28,00	51,32	22,14	18.10.1996
37	Sandıklı	47851	2557750	4257250	1025	152	25,00	66,24	13,50	09.08.1996
38	Sorkun	50662	2545575	4261075	985	235	7,84	51,68	20,37	14.06.1997
39	Sorkun	58927	2543250	4260825	985	202	24,00	71,22	18,40	17.09.2006
40	Sorkun	58743	2543732	4261041	985	175	9,87	54,26	20,00	27.10.2005
41	Sorkun	58744	2544590	4261714	995	175	5,72	53,41	15,14	05.12.2005
42	Sorkun	36204	2545325	4261750	985	245	9,00	38,45	30,87	03.03.1983
43	Sorkun	58742	2544950	4261400	990	175	3,00	56,36	15,01	07.10.2005
44	Ülfeciler	53939	2553500	4261750	995	202	6,45	28,00	15,32	25.04.1999
45	Ülfeciler	52325	2553150	4261875	990	200	3,65	66,45	10,33	08.03.1998
46	Ülfeciler	52324	2553833	4261835	989	200	6,00	43,78	26,50	15.11.1997
47	Ürküt	25040	2554982	4268554	991	155	2,00	38,61	11,67	03.06.1978
48	Ürküt	49751	2554950	4267575	992	154	4,27	47,00	35,32	30.04.1995
49	Ürküt	25039	2554277	4268115	1004	146	6,00	39,31	22,07	20.04.1978
50	Ürküt	25041	2555193	4267324	993	155	3,30	38,15	20,69	26.05.1978

izelge 4.23. Havzada açılmış soğuk su sondaj kuyularına ait teknik veriler

NO	YER	KUYU NO	KOORDİNAT		YÜKSEKLİK (m)	DERİNLİK (m)	STATİK SEVİYE (m)	DİNAMİK SEVİYE (m)	VERİM (l/s)	AÇILDIĞI TARİH
1	Akın	54541	2563350	4252800	1140	200	29,35	75,50	15,00	18.04.2000
2	Akın	54540	2563775	4252875	1130	220	3,11	69,99	30,27	07.06.2000
3	Alamescit	58000	2554275	4247119	1137	195	31,73	75	20,00	17.09.2003
4	Alamescit	57517	2552500	4246000	1030	191	23	71,88	50,00	23.10.2002
5	Alamescit	40905	2550756	4247400	1047	200	10,50	66,37	4,00	18.06.1991
6	Akharım	50642	2562500	4280950	1200	150	21,18	65,81	13,56	20.10.1997
7	Akharım	50643	2562800	4280650	1200	150	9	32,43	49,26	17.10.1997
8	Ballık	52229	2556100	4243075	1086	234	20	52,8	30,27	03.05.1997
9	Ballık	56056	2555625	4243400	1060	300	14,95	61,2	22,07	12.04.2001
10	Ballık	45474	2555850	4241575	1100	207	17,06	59,26	22,07	17.06.1993
11	Ballık	43233	2556350	4244075	1078	281	18,15	65,10	36,08	12.08.1993”
12	Ballık	15552	2555576	4243496	1077	322	10,45	42,84	30,74	06.08.1973
13	Ballık	15551	2555601	4243007	1074	290	5,73	50,00	39,06	02.04.1973
14	Ballık	31763	2559450	4241750	1250	280	13,11	55,91	30,27	02.03..1986
15	Ballık	15553	2555990	4242829	1091	287	5,90	43,80	30,27	30.05.1973
16	Ballık	45236	2555550	4243100	1060	281	24,27	5,84	28,25	29.06.1993
17	Bektaş	54544	2566500	4256950	1200	170	4,9	7,85	3,27	04.07.2000
18	Bektaş	54542	2566775	4256225	1200	168	18,05	75,25	17,53	23.06.2000
19	Bektaş	54543	2566975	4256750	1200	180	6	75	12	30.06.1999
20	Dutağacı	58567	2565440	4258446	1175	175	9	55,78	20,37	17.12.2005
21	Dutağacı	58568	2565275	4256855	1168	174	10,18	67,2	15,01	13.12.2005
22	Ekinova	45880	2554300	4243050	1048	300	10,5	62	16,21	20.09.1994
23	Ekinova	45880/C	2554250	4243250	1048	316	3	85,87	15,01	28.09.1994
24	Ekinova	36398	2553750	4243500	1044	298	39,00	92,31	10,10	10.07.1994
25	Ekinova	26780	2554060	4244020	1069	200	10,30	43,60	39,84	19.09.1981
26	Ekinova	45881	2553800	4243500	1043	300	10,27	62,60	6,24	05.05.1993

Çizelge 4.23. (devam)

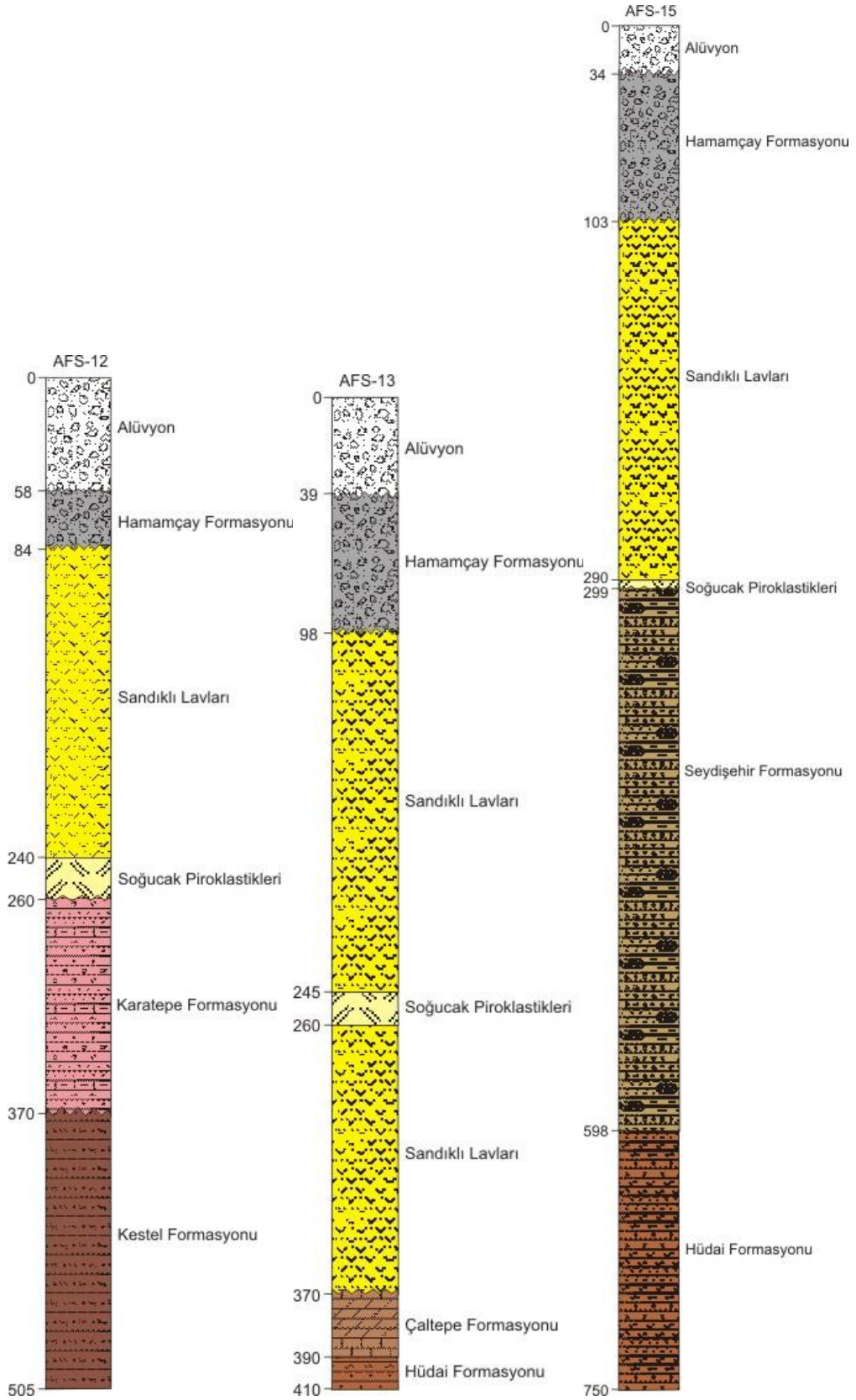
27	Emirhisar	42447	2546950	4262950	980	146	28,1	58,01	63,2	11.12.1991
28	Emirhisar	59321	2546405	4263347	986	132	12,00	76,84	10,85	17.07.2007
29	Emirhisar	42448	2546800	4262600	980	131	31,10	62,10	40,62	10.10.1991
30	Emirhisar	42450	2547250	4262525	985	122	37,10	51,11	51,72	20.11.1991
31	Emirhisar	42449	2546400	4261800	975	162	33,35	61,00	30,27	27.10.1991
32	Gökçealan	48013	2560250	4251100	1075	135	5,1	45,76	30,28	23.10.1996
33	Gökçealan	48012	2560000	4251000	1075	141	7,00	48,68	35,32	11.03.1988
34	Kargın	58566	2566259	4255021	1220	175	22	48,37	25,3	25.11.2005
35	Kargın	58565	2566673	4255459	1150	175	11,63	62,3	15,01	28.10.2005
36	Kargın	56167	2566500	4255600	1190	173	14,90	64,20	13,25	27.06.2001
37	Kırka	49441	2549300	4261250	995	180	12	47,53	35,32	09.08.1996
38	Kırka	59393	2548700	4261475	1002	158	28,7	74,35	15,77	08.08.2007
39	Kızılören	58571	2555089	4239334	1125	250	13	58,78	20,00	26.11.2005
40	Kızılören	58570	2554800	4239620	1220	250	31,50	79,14	15,01	24.10.2005
41	Nuh	54221	2563650	4277400	1180	165	1,22	21,17	45,10	22.06.1999
42	Nuh	14359	2564334	4279119	1193	120	5,50	9,47	72,00	20.05.1970
43	Örenkaya	47120	2553975	4250175	985	170	16,75	65,1	22,07	01.02.1994
44	Örenkaya	43292	2549250	4253300	1034	200	15,30	46,10	21,13	14.10.1993
45	Örenkaya	43290	2549800	4254075	1032	200	8,30	43,94	26,18	06.10.1993
46	Örenkaya	25600	2553254	4250748	975	200	2,10	49,20	12,30	14.08.1981
47	Örenkaya	43289	2553200	4249775	1015	200	13,00	50,60	20,00	07.10.1993
48	Saltık	54547	2544200	4263675	980	188	3,55	74,90	20,00	06.06.2000
49	Sandıklı	14930	2555662	4256979	1029	181	4,48	21,10	30,00	09.10.1970
50	Sandıklı	14929	2557729	4257766	1035	112	5,09	15,89	30,27	20.10.1970
51	Sandıklı	14928	2557380	4255691	1073	132	3,04	17,50	30,00	09.10.1970
52	Sandıklı	14931	2557313	4258040	1036	141	6,34	13,83	30,00	22.10.1970
53	Sandıklı	47850	2557200	4259100	1030	147	26,00	54,63	20,00	29.09.1996
54	Sorkun	57267	2544225	4261050	900	175	9,76	50,25	35,8	13.09.2002
55	Taşoluk	50116	2567990	4277550	1202	124	3,55	56,65	19,23	06.06.1996
56	Taşoluk	50117	2568225	4277125	1200	106	3,6	27,12	31,22	14.06.1996

4.6.1.5. Sıcak su sondaj kuyuları

Sandıklı Hüdai jeotermal sahası içerisinde MTA tarafından 1994-2000 yılları arasında 7 adet sıcak su sondajı açılmıştır (Şekil 4.25.). Şu anda ise Sandıklı Belediyesi tarafından sıcak su sondaj kuyu sayısı 17'ye yükseltilmiştir. Bu kuyulara ait teknik özellikler Çizelge 4.24.'de verilmiştir. Bu kuyulardan AFS1, AFS3, AFS4, AFS5, AFS7, AFS8 ve AFS14 numaralı sıcak su kuyuları şu anda kullanılmamaktadır. AFS2, AFS6 ve AFS 9 numaralı sıcak su kuyuları ise Hüdai kaplıcası mevkiinde yer almaktadır ve halen kaplıcada kullanılmaktadır. Bu kuyuların dışındaki AFS11, AFS12, AFS13, AFS14, AFS15, AFS16 ve AFS17 (kuyu açma işlemi devam etmektedir-2010) numaralı kuyular ise şehir ısıtmacılığı ve seracılık amaçlı kullanılmaktadır. AFS12, AFS13 ve AFS 15 nolu kuyulara ait loglar Şekil 4.24.'de verilmiştir Sadece AFS1 AFS9 ve AFS17 numaralı kuyularda statik seviye ölçümleri gerçekleştirilebilmiştir. Bu seviyeler sırasıyla, 11,46 m, 22,39 m ve 59,39 m olarak ölçülmüştür.

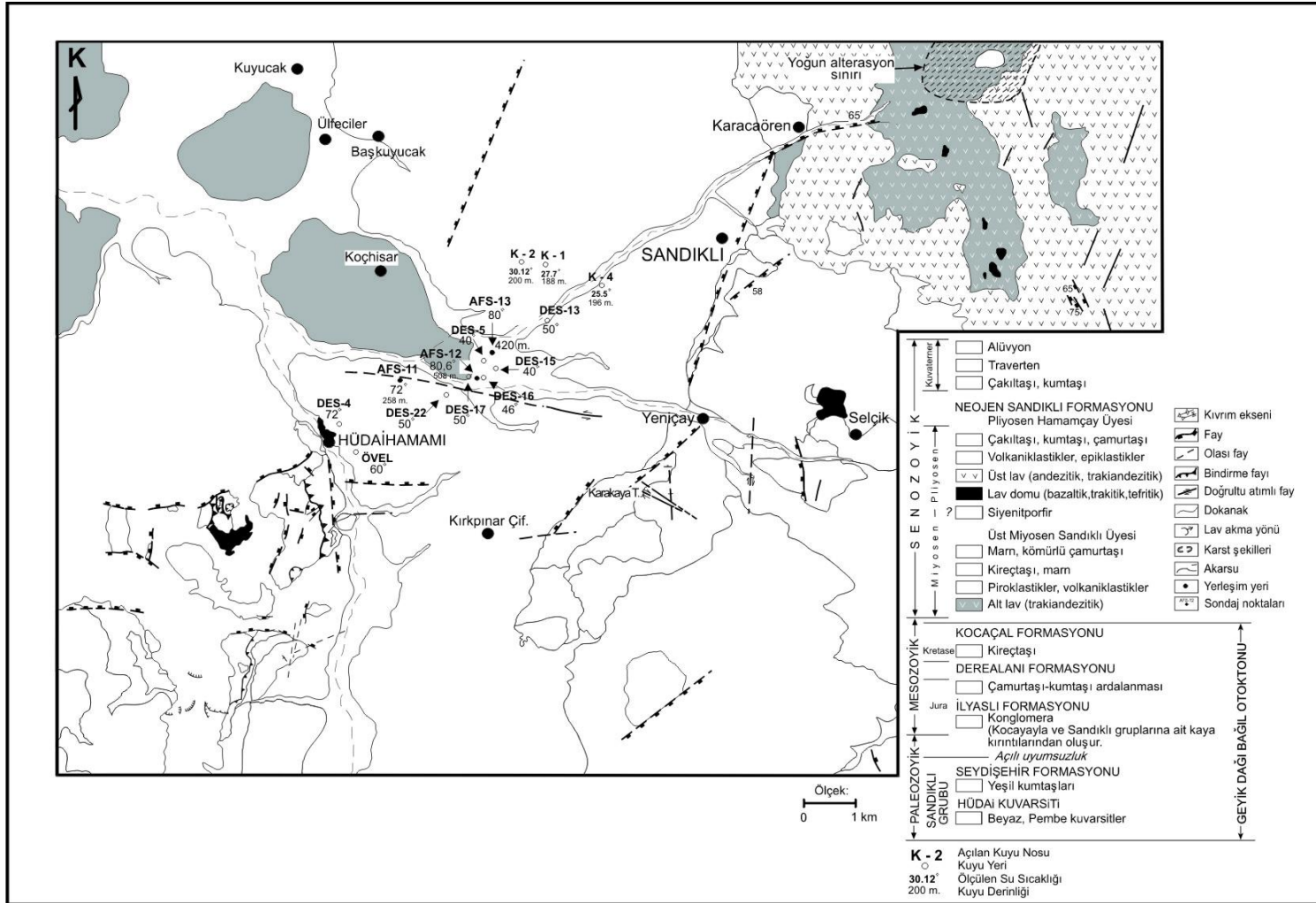
Çizelge 4.24. Sandıklı Hüdaihamamı jeotermal sahası içerisinde açılmış sıcak su sondaj kuyularının teknik özellikleri (AİÇDR, 2008; Sandıklı Belediyesi, 2010)

Adı	Derinlik (m)	Debi (l/s)	Sıcaklık °(C)	İlçesi
AFS1	226	39	70,5	Sandıklı
AFS2	139,4	59	69	Sandıklı
AFS3	301	40	39	Sandıklı
AFS4	70	60	66	Sandıklı
AFS5	76,5	58	67	Sandıklı
AFS6	49,15	60	69,7	Sandıklı
AFS7	79	Sondaj hukuksal sebeplerle durdurulmuştur.		
AFS7/A	92,1	85	70,1	Sandıklı
AFS8	53	40	54	Sandıklı
AFS9	100		72	Sandıklı
AFS10	54	13	68	Sandıklı
AFS11	258	60	69,7	Sandıklı
AFS12	508	75	78	Sandıklı
AFS13	422	80	76	Sandıklı
AFS14	527		79	Sandıklı
AFS15	750	50	59,7	Sandıklı
AFS16	1022		81	Sandıklı
AFS17	1000	Sondaj açımı devam ediyor. Çamur sıcaklığı 50 °C		



Şekil 4.24. Hüdai kaplıcası ve civarında bulunan sıcak su sondaj kuyularına ait loglar

Sandıklı Hüdaihamamı jeotermal sahası, konut ısıtmacılığında ülkemizdeki en iyi örneklerin başında gelmektedir. Bölgede konut ısıtmacılığı amacıyla ilk sondajlar 1994 yılında yapılmıştır. Jeotermal enerjinin kullanımı yaygınlaştıkça, ekonomik ve çevresel avantajları görüldükçe kullanıma yönelik talep artmıştır. Bunun üzerine Sandıklı' da jeotermal potansiyel yeniden değerlendirilerek, birbirini etkilemeyecek veya en az etkileyecek jeotermal üretim kuyuları açılmıştır. Bölgede 1994 yılında gerçekleştirilen iki kuyuya ilave olarak 2000 yılında dört kuyu daha devreye sokulmuştur (Şengüler vd, 2001). Şu anda halen Sandıklı ilçesinin tamamını ısıtmaya yönelik belediyeye bağlı olarak çalışan SANJET A.Ş. tarafından yeni kuyuların açımına devam edilmektedir. Şu anda (2010 yılı) 17. kuyu açılmaktadır.



Şekil 4.25. Hüdai jeotermal alanının jeoloji haritası (Öngür, 1973; Karamanderesi, 2005)

4.6.2. Litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri

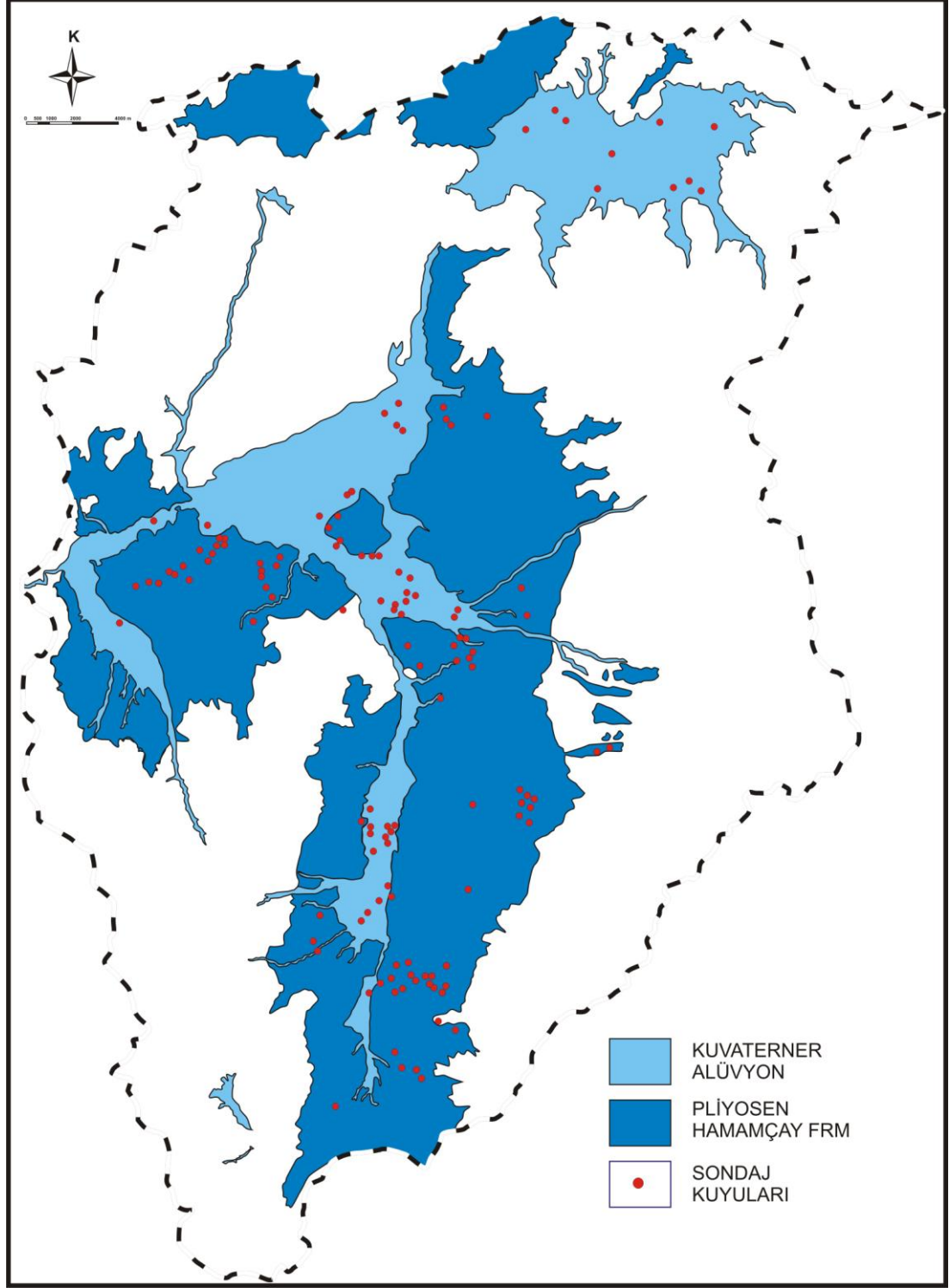
Çalışma alanında bulunan jeolojik birimler su bulundurabilme özellikleri açısından değerlendirildiğinde en önemli akifer birimlerin alüvyon ve Hamamçay formasyonu olduğu görülmektedir. Havza alanında yüzeyleyen litolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre irdelenerek aşağıda tanımlanmıştır.

4.6.2.1. Yaygın verimli akifer ortam (VA)

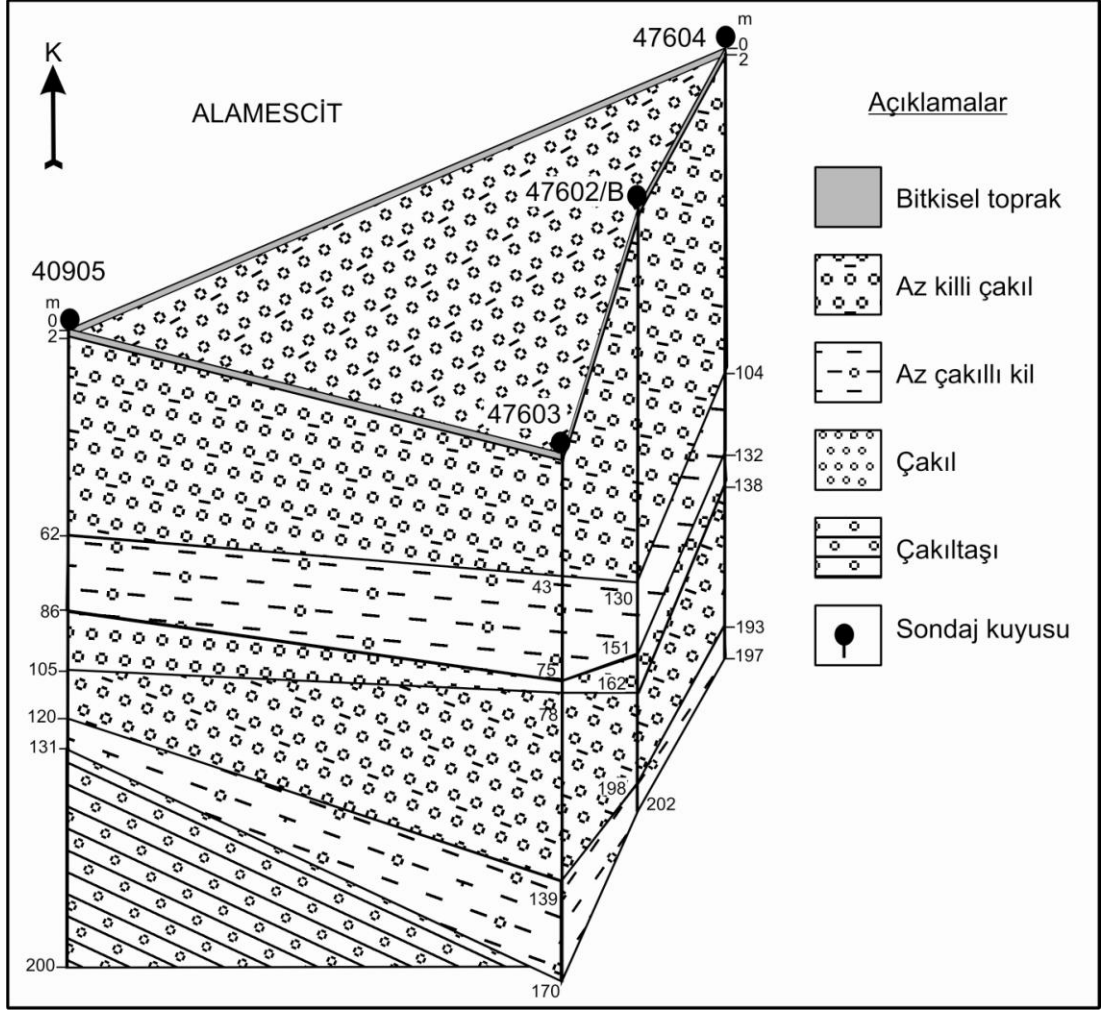
Havzada geniş alanlarda yüzeyleyen Kuvaterner alüvyon ve Pliyosen Hamamçay formasyonu yaygın verimli akifer ortam olarak tanımlanmıştır (EK-4). Alüvyon havzada yaklaşık olarak 174 km²'lik bir alanda, Hamamçay formasyonu ise 328 km²'lik bir alanda yüzeylemektedir (Şekil 4.26.). Alüvyon birim, sıkılaşmamış çakıl, kum, silt, kil gibi pekleşmemiş güncel çökeller ile killi çakıl, kumlu kil, kumlu killi çakıl, çakıl arabantlı kil şeklinde bir istif sunmaktadır. Birim bu özelliği ile gözenekli bir yapıya sahip olup iyi bir akifer özelliği taşımaktadır. Hamamçay formasyonu ise volkanik çakıltaşı örtüsü, ince çakıl, kil, silt yer yer kireçtaşı katkılı çakıltaşı, killi çakıl, kumlu kil, kumlu killi - çakıl, gevşek çimentolu çakıltaşlarıyla, kireçtaşı ve silttaşı çakıllarından meydana gelen ardalanmalı bir istif sunmaktadır. Gevşek tutturulmuş kırıntılı sedimanter kayaların ardalanmasından oluşan birim havzada önemli akiferdir. Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı birimlerin kalınlığı 200-300 m dolayındadır.

Alüvyon ve Hamamçay formasyonu üzerinde açılmış çok sayıda sondaj kuyusu bulunmaktadır. Alüvyon birim içerisinde açılmış olan 43 adet sondaj kuyusunun debileri 4,78 - 51,10 l/s arasında değişmektedir (Çizelge 4.22.). Hamamçay formasyonu üzerinde ise 52 adet sondaj kuyusu bulunmaktadır. Bu kuyuların debileri ise 7,44 - 50,46 l/s arasında değişmektedir (Çizelge 4.22.; EK-4). Alüvyon ve Hamamçay formasyonu içerisinde açılan kuyulardan panel diyagramlar hazırlanmıştır (Şekil 4.27.; 4.28.; 4.29.; 4.30.; 4.31.; 4.32.). Sorkun, Emirhisar, Alamescit, Ürküt, Ballık ve Gökçealan bölgelerinde bulunan kuyularda yapılan panel diyagramlarda genel olarak çakıllı kil seviyelerinin yoğun olarak gözlenmektedir.

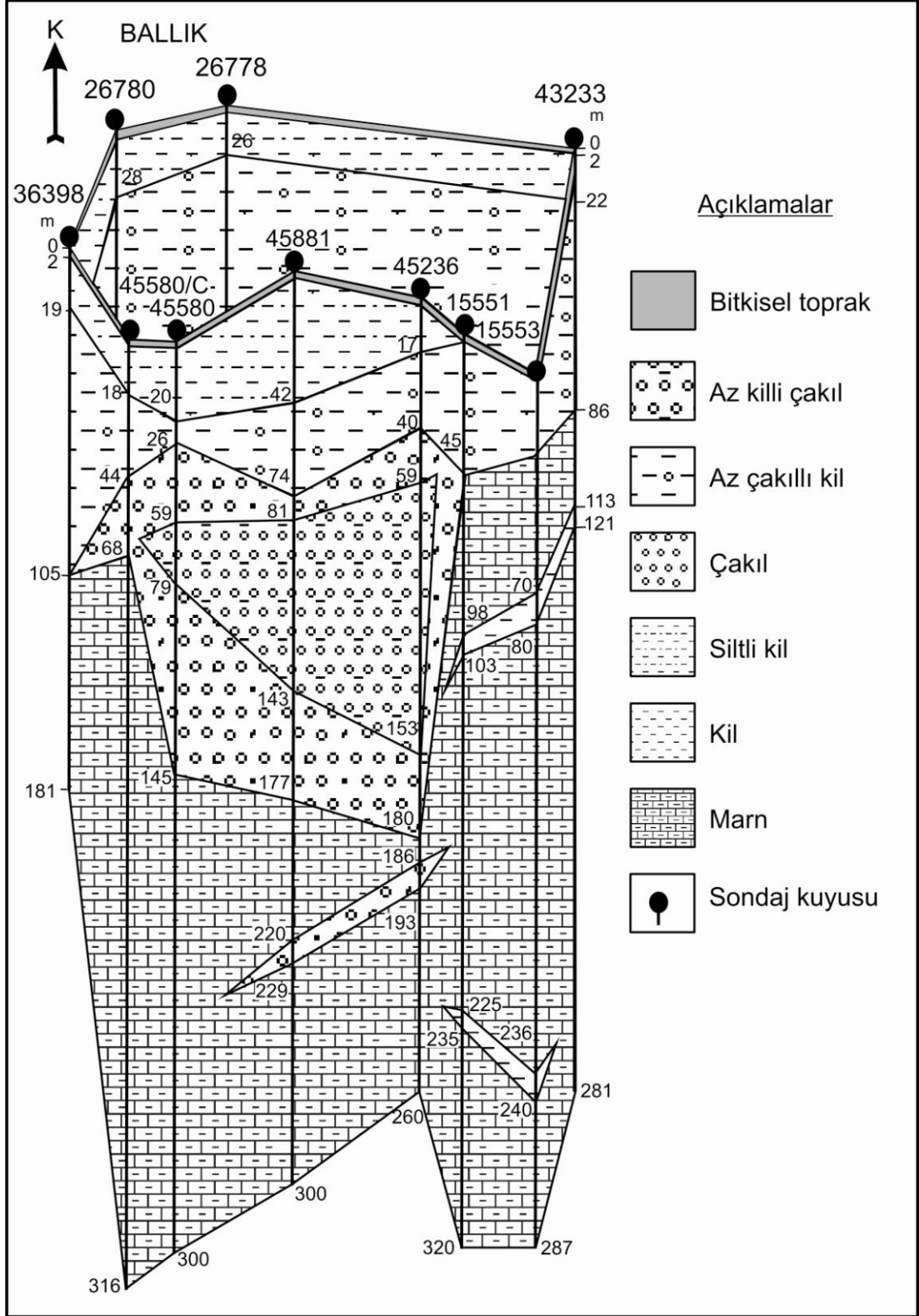
Ürküt civarında 50 m'ye ulaşan çakıl seviyeleri gözlenmektedir. Ballık civarında ise genel olarak 200 m'den sonra Bozoğlan formasyonunun marn seviyeleri kesilmiştir.



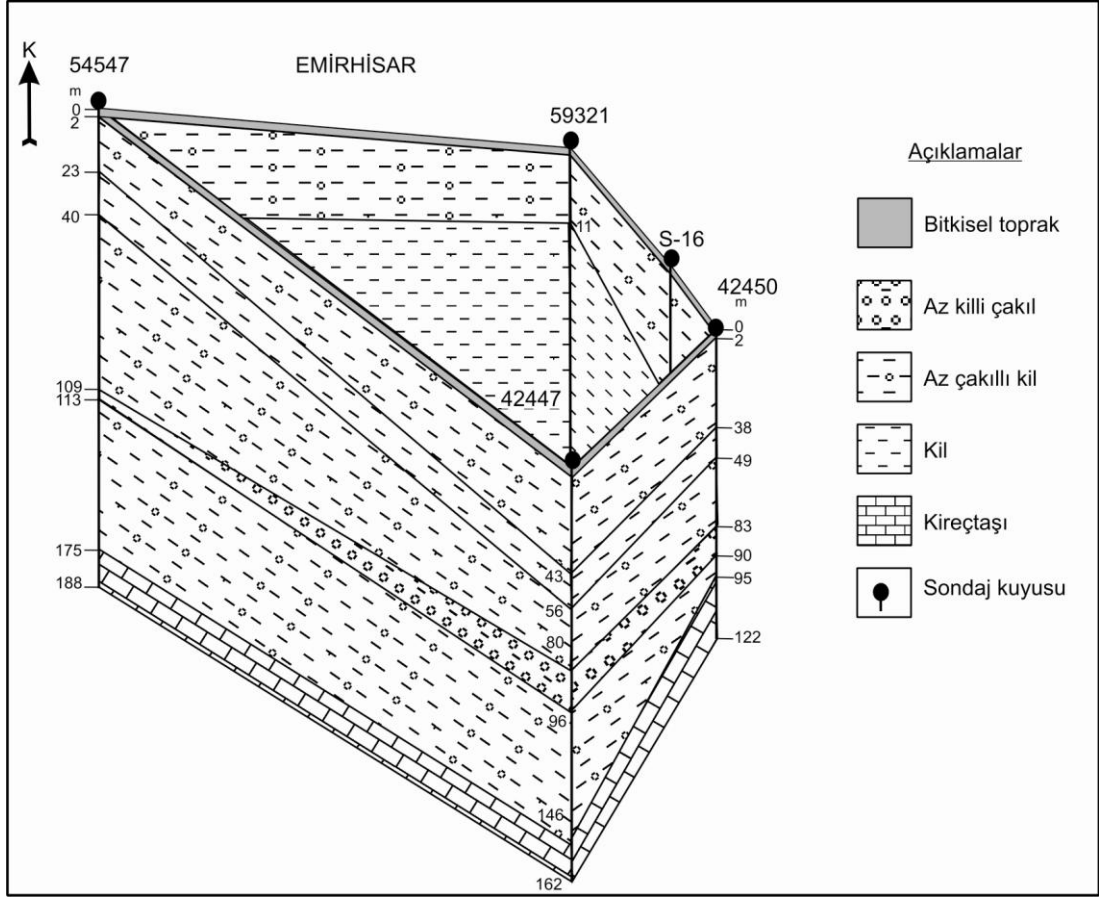
Şekil 4.26. Havzada alüvyon ve hamamçay formasyonunun yayılımı



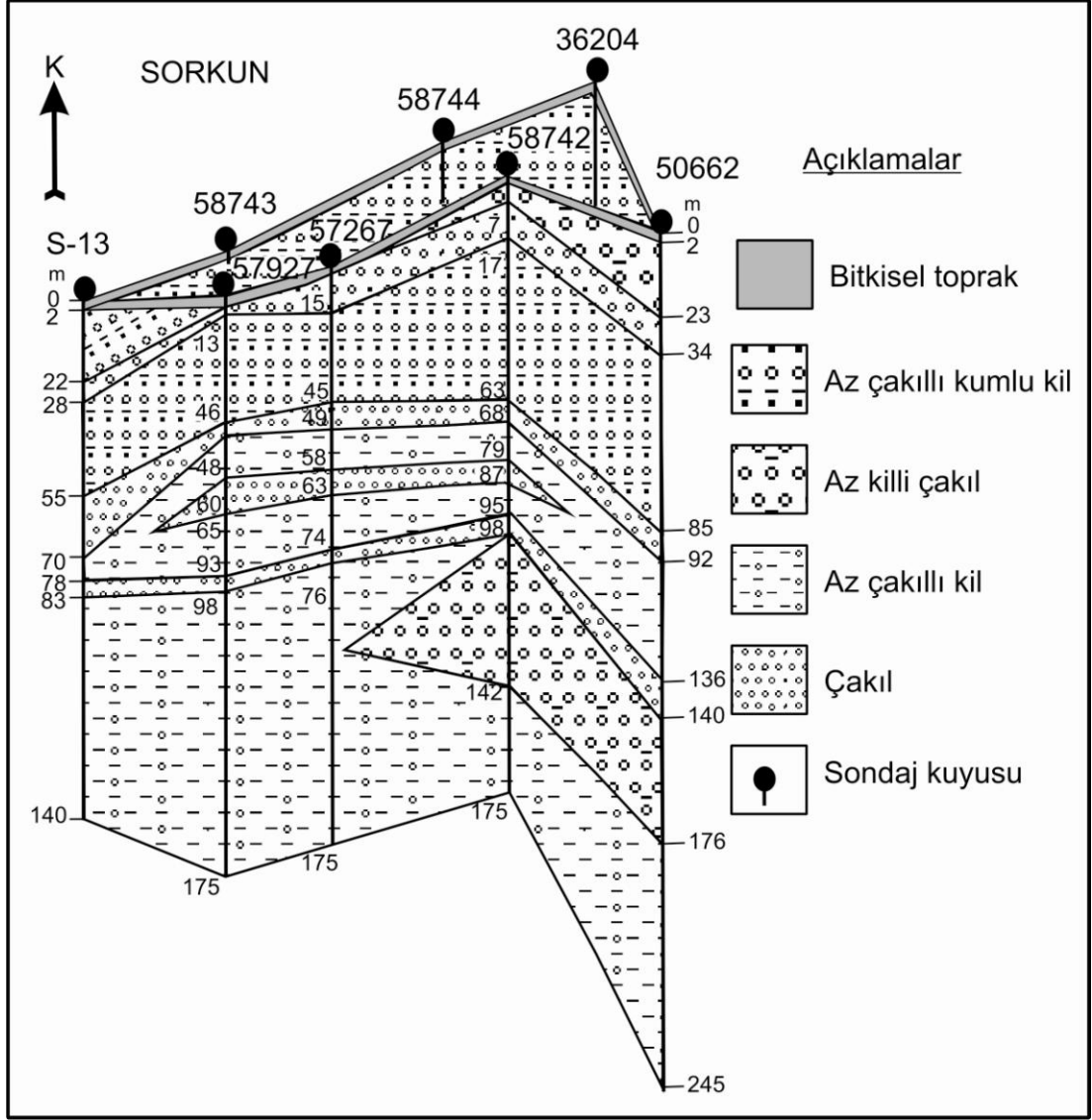
Şekil 4.27. Alamescit ve civarına ait panel diyagram



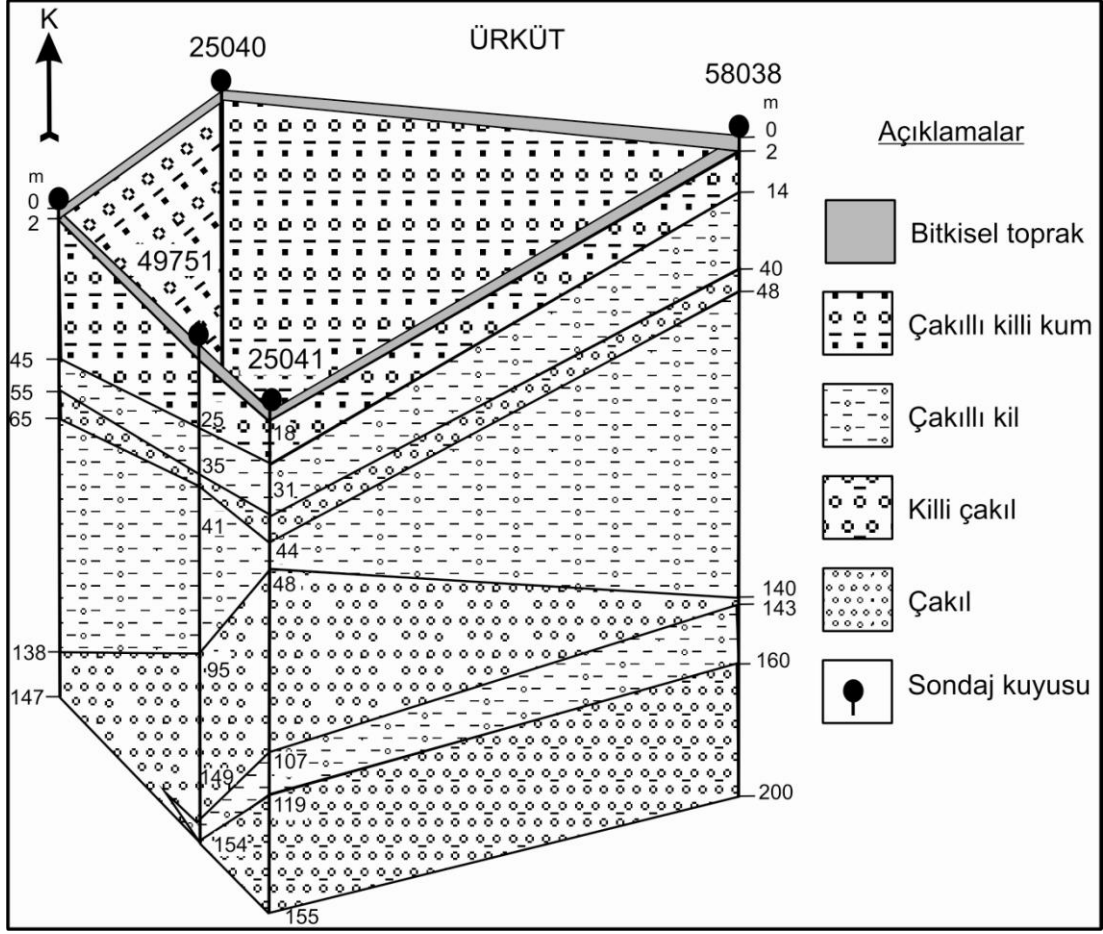
Şekil 4.28. Ballık ve civarına ait panel diyagram



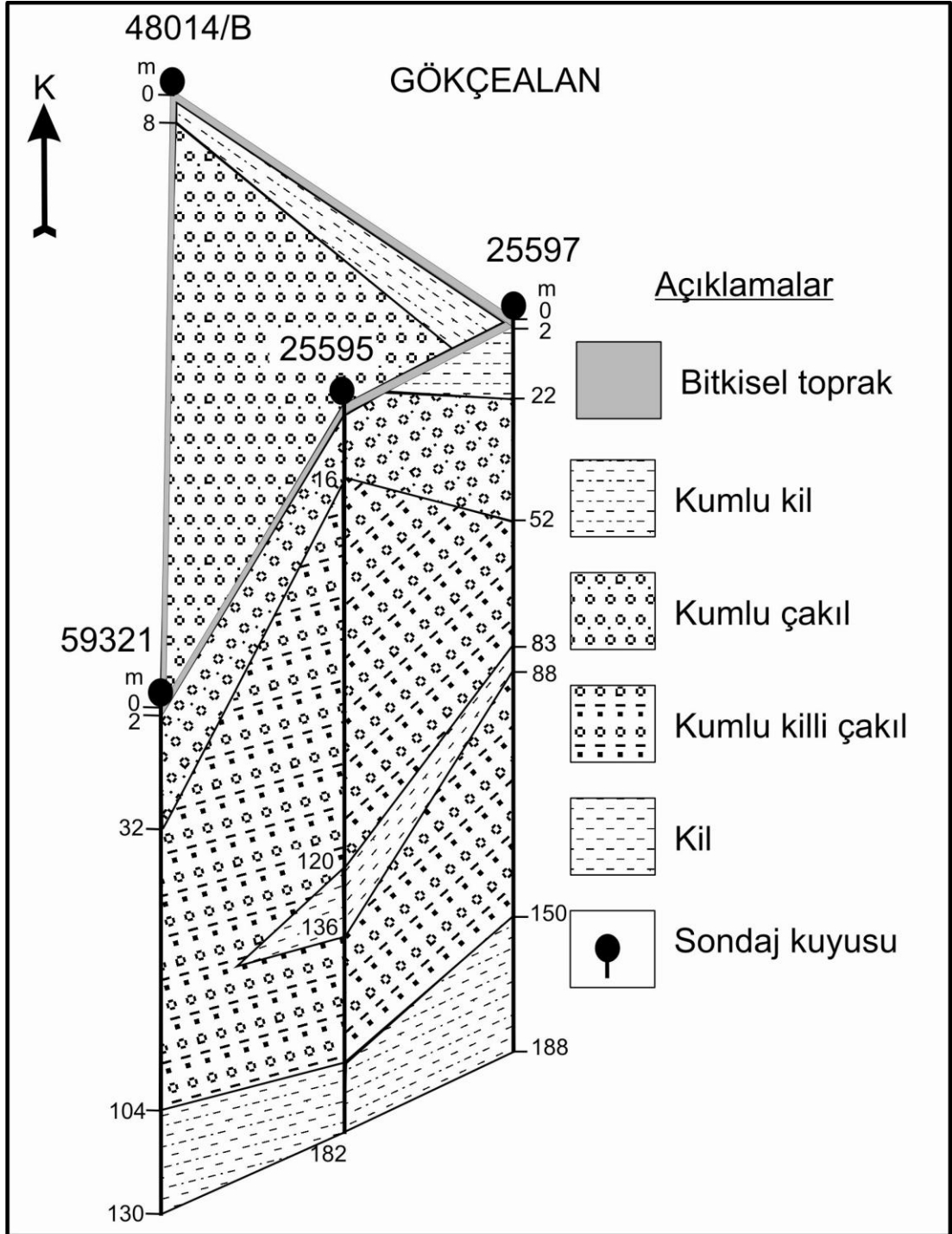
Şekil 4.29. Emirhisar ve civarına ait panel diyagram



Şekil 4.30. Sorkun ve civarına ait panel diyagram



Şekil 4.31. Ürküt ve civarına ait panel diyagram



Şekil 4.32. Gökçealan ve civarına ait panel diyagram

4.6.2.2. Yersel verimli akifer ortam (YVA)

Genel olarak çakıltaşı, kumtaşı, şeyl ve kumlu, killi kireçtaşlarından oluşan Karatepe formasyonu havzanın güney batısında küçük alanlarda yüzeylemektedir (EK-4). Birim içerisinde gelişen çatlaklı ve faylı yapılar geçirimsizliği artırmaktadır. Kalın tabakalanma gösteren birim yukarıya doğru incelenerek yer yer tabakasız bir görünüm sunmaktadır. Tabakalı seviyeler gevşek tutturulmuş olduğundan iyi bir akifer özelliği taşımaktadır.

Ova genelinde Karatepe formasyonunu Sandıklı'da (47850) alüvyon tabanında 75 m derinlikte kesilirken Sorkun (57267), Alamescit (58000), Alamescit (57517) ve Akın (54540) bölgesinde açılmış kuyularda kireçtaşlarından oluşan Akdağ formasyonunun altında 140-160 m derinliklerde kesilmiştir. Bu kuyuların debileri 20-50 l/s arasında değişmektedir. Birimin süreksizlik düzlemleri ve dokanak yüzeylerinde 0,5 – 1 l/s debili kaynak boşalımları da gözlenmektedir (Afşin, 1991).

4.6.2.3. Yersel verimli karstik akifer (YKA)

Alttan üste doğru masif, breşik ve yer yer çört bantlı dolomitik özellikte kireçtaşları şeklinde bir dizilim gösteren Akdağ formasyonu karstik akifer olarak tanımlanmıştır (Ek). Birim erime boşlukları, faylı yapısı, birbirini kesen çatlakları ve süreksizlikleri ile gelişen ikincil gözenekliliği nedeniyle karstik akifer özelliği taşımaktadır (Afşin, 1991). Çalışma alanının doğusunda Emirhisar civarında bulunan 42448 nolu kuyuda 6 m Hamamçay formasyonundan sonra ve 59321 nolu kuyuda ise 9 m alüvyondan sonra tamamen Akdağ formasyonu içerisinde açılmıştır. Bu kuyuların debisi sırasıyla 40,62 l/s ve 10,85 l/s olarak belirlenmiştir (DSİ, 2007).

Ova genelinde 16 adet sondaj kuyusunda genel olarak Hamamçay formasyonunun altında 40-170 m derinliklerde Akdağ formasyonuna girilmiştir. Bu kuyular Akın, Alamescit, Emirhisar, Gökçealan, Kırka, Kızılören, Saltık ve Sorkun yerleşim merkezleri civarında bulunan kuyulardır (Çizelge 4.25.; EK-5).

Çizelge 4.25. Ovada kireçtaşı kesen kuyulara ait debi değerleri

No	Kuyu No	Debi (l/sn)
1	Akın 54541	15,00
2	Akın 54540	30,27
3	Alamescit 57517	50,00
4	Alamescit 58000	20,00
5	Emirhisar 42447	63,20
6	Emirhisar 42448	40,62
7	Emirhisar 42449	30,27
8	Emirhisar 42450	51,72
9	Emirhisar 59321	10,85
10	Gökçealan 48012	35,32
11	Gökçealan 48013	30,28
12	Kırka 49441	35,32
13	Kırka 59393	15,77
14	Kızılören 58571	20,00
15	Saltık 54547	20,00
16	Sorkun 57267	35,80

Çalışma alanında çok küçük alanlarda yüzeyleyen dolomit ve kireçtaşı seviyeleri bulunduran Çaltepe formasyonu da karstik akifer özelliğindedir. Birim Hüdaihamamı civarında sıcak suların hazne kayacı niteliğini taşımaktadır (Afşin, 1991).

4.6.2.4. Verimli sıcak su akiferi (VSA)

Çalışma alanında Hüdai kaplıcası, Reşadiye, Celiloğlu ve Taşoluk çevresinde kuvarsitlerden meydana gelen birim, bölgede sıcak ve mineralli su kaynaklarının hazne kayaçlarını oluşturmaktadır. Kuvarsitler senklinal türü kıvrımlar ve ikincil gözenekliliğe sahip olması nedeniyle iyi bir akifer niteliğindedir (Afşin, 1991). Hüdai kaplıca alanında tektonik hatlar boyunca yüzeye çıkmış kaynaklar ve bu birim içerisine açılmış olan derin sondaj kuyuları vasıtasıyla önemli miktarlarda sıcak su alınmaktadır (EK-4).

4.6.2.5. Akitard ortam 1 (AKT-1)

Çalışma alanında su bulundurma açısından benzer hidrojeolojik özellikler taşıyan Oligosen konglomera, traverten, Sandıklı lavları ve Bozoğlan formasyonu akitard ortam olarak ele alınmıştır (EK-4).

Oligosen konglomera biriminin içerdiği karbonat çimento nedeniyle gelişen erime boşlukları ve süreksizlik düzlemlerinde yeraltısuyu bulundurabilmektedir. Çalışma alanının güneyinde Ballık civarında açılmış olan iki adet sondaj kuyusunda 160-260 m arasında Oligosen konglomera kesilmiştir. Bu kuyuların debileri 28,25 l/s ve 22,07 l/s'dir (EK-4).

Çalışma alanında sadece Hüdai kaplıcası çevresinde küçük bir alanda yüzeyleyen traverten birimi sıcak su kaynaklarının yüzeye ulaşmaları ile oluşmuştur. Travertenlerde yarık ve çatlaklarla hidrotermal oluk ödevi gören boşluk ve kanallardan dolayı ikincil porozite ve permeabilite iyi gelişmiştir (Afşin, 1991). Ancak, çalışma alanında yayılım ve kalınlıklarının fazla olmaması nedeniyle önemli bir akifer özelliği taşımamaktadır (EK-4).

Sandıklı lavları içerisinde bulunan trakiandezitler ve bazaltlar bol kırık ve çatlaklı yapılarının yanısıra gözenekli yapıya sahip olmaları nedeniyle geçirimli özelliğe sahiptir. Bazalt akıntılarının yayılımları genelde fazla olmakla beraber kalınlıkları azdır. Andezit ve bazaltlarda püskürmeyi izleyen soğuma evresinde oluşmuş soğuma çatlakları ve bundan sonra gelişmiş tektonik olaylarla oluşmuş ikincil gözeneklilik geçirimliliğin giderek artmasına neden olmuştur. Ancak, andezitlerin kimyasal olaylar sonucu kile dönüşmesi ile yer yer geçirimsiz seviyeler de oluşmuştur (Afşin, 1991). Sandıklı lavları çalışma alanının kuzeyinde bulunan Küçük Sincanlı ovasında 84-145 m derinlikleri arasında dört adet sondaj kuyusunda kesilmiştir (EK-4).

İnce tabakalı kireçtaşı, killi kireçtaşı, radyolaryalı kristalize kireçtaşı ve split ardalanmasından oluşan Bozoğlan formasyonu çalışma alanının güneyinde dar bir alanda yayılım göstermektedir. Birimi oluşturan kireçtaşlarının kırık ve çatlaklar birimin geçirimlilik özelliğini artırırken, killi kireçtaşı seviyeleri ise azaltmaktadır. Çalışma alanında bu birimin kesildiği 20 adet sondaj kuyusu bulunmaktadır. Bu kuyuların debileri 10,10 – 85,87 l/s arasında değişmektedir (Çizelge 4.23.; EK-4).

4.6.2.6. Akitard ortam 2 (AKT-2)

Soğucak piroklastiklerinin içerisinde bulunan kırıntılı ve volkanik ürün olan tuf, tuf breşi ve tüfit seviyeleri gaz boşuklarından dolayı gözenekli yapıya sahiptir. Ancak, bu gözeneklerin bir çoğu kapalı durumdadır. Fakat, yine de bu seviyelerin kalınlıkları ve yayılımlarına göre bir miktar yeraltısuyu bulundurabilmektedirler. Soğucak piroklastikleri içerisindeki aglomera düzeyleri ise geçirimsiz seviyeler oluşturmaktadır. Bu nedenle birim akitard ortam olarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanının doğusunda açılan 10 adet sondaj kuyusu doğrudan bu birim üzerinde açılmıştır. Bu kuyuların debileri 13,56 – 49,26 l/s arasında değişmektedir (Çizelge 4.23.; EK-4).

4.6.2.7. Akifüj ortam 1 (AKF-1)

Benzer litolojik seviyelerden oluşan Deralanı ve Seydişehir formasyonları aynı birim içerisinde ele alınmıştır. Bu formasyonlarda bulunan litolojik birimler su buldurma özelliği taşımadığı için akifüj ortam olarak değerlendirilmiştir. Birimler içerisinde bulunan kumtaşı seviyelerinde gözenek porozitesi, kırılmalı, kıvrımlı ve çatlaklı yapılarından dolayı ikincil porozite gelişmiştir. Ancak, silttaşı, şeyl ve marnlı seviyeler geçirimsiz özellik taşımaktadır (Afşin, 1991; EK-4).

4.6.2.8. Akifüj ortam 2 (AKF-2)

Üst Paleozoyik yaşlı Kestel formasyonu, kuvars-klorit-serisit şist, kuvars-feldispat-klorit şist, feldispat-kuvars serisit şist ve kuvars serisit şistler, yerel metamorf kumtaşları, metabazik siller ve yer yer mermer bantlarından oluşmaktadır. İnceleme alanının temelini oluşturan birim metamorfik özelliğinden dolayı geçirimsiz özelliktedir ve akifüj ortam olarak nitelendirilmiştir. Ovada bu birime ulaşan sondaj kuyusu bulunmamaktadır (EK-4).

4.6.3. Akifer parametreleri

Akifer ortamların kullanılabilirliğini denetleyen en önemli faktörler akifer birimlerin hidrolojik parametreleridir. Bu parametreler, akifer ortamın ve yeraltısuyu akımının sayısal olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır. İnceleme alanında akifer olarak tanımlanan birimlerin hidroloji parametrelerini (transmisibilite, permeabilite ve depolama katsayısı) belirlemek amacıyla, bölgede DSİ 18. Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış kuyulardan 50 adedi seçilmiştir. Seçilen kuyuların tamamı havzada en önemli akifer olan Alüvyon ve Hamamçay formasyonunda açılmıştır. Kuyularda hidroloji parametrelerini belirlemek için Aquifer Test 3.5 bilgisayar yazılım programından yararlanılmıştır. Bu kuyuların açıldığı tarihlerde yapılmış sabit seviyeli düşüm deney verilerinin değerlendirilmesinde gözenekli akiferde, dengesiz rejim için geçerli olan Cooper-Jacop Time-Drown ve Thies yöntemleri seçilmiştir (EK-6). Alüvyon ortam içerisinde açılmış olan sondaj kuyularında hesaplanan transmissibilite katsayısı havza genelinde $4,29 \times 10^0 - 9,83 \times 10^1$ m²/gün arasında değişmektedir. Permeabilite katsayısı değerleri ise $1,03 \times 10^0 - 9,25 \times 10^{-2}$ m/gün'dür (Çizelge 4.26.). Sadece Hamamçay formasyonunda açılan kuyularda belirlenen transmissibilite ve permeabilite katsayıları ise sırasıyla $3,89 \times 10^0 - 1,91 \times 10^2$ m²/gün, $1,02 \times 10^0 - 9,60 \times 10^{-2}$ m/gün değerleri arasında elde edilmiştir (Çizelge 4.26.). Bu değerler incelendiğinde akifer parametrelerinin alüvyon ve Hamamçay formasyonu için benzer sonuçlarda olduğu görülmektedir. Bu birimlerin benzer litolojilere sahip olması da bu durumu desteklemektedir.

izelge 4.26. Sandıklı havzasındaki akifer parametreleri (K,T,S)

NO	YER	KUYU NO	COOPER-JACOB TIME-DRAWDOWN YÖNTEMİ		THIES YÖNTEMİ			SONDAJ KUYUSUNUN AÇILDIĞI FORMASYON
			TRANSMİSİBİLİTE KATSAYISI (m ² /gün)	PERMEABİLİTE KATSAYISI (m/gün)	TRANSMİSİBİLİTE KATSAYISI (m ² /gün)	PERMEABİLİTE KATSAYISI (m/gün)	DEPOLAMA KATSAYISI (%)	
1	Alamescit	47602/B	1,88x10 ¹	1,02x10 ⁻¹	1,86 x10 ¹	1,01 x10 ⁻¹	9,86 x10 ⁻⁴	Alüvyon
2	Alamescit	47604	3,12x10 ¹	1,64x10 ⁻¹	3,07 x10 ¹	1,61 x10 ⁻¹	1,62 x10 ⁻³	Alüvyon
3	Ekinhisar	52323	5,27 x10 ⁰	3,76x10 ⁻²	5,14 x10 ⁰	3,67 x10 ⁻²	1,24 x10 ⁻³	Hamamçay f.
4	Ekinhisar	52322	1,70 x10 ¹	1,21x10 ⁻¹	1,67 x10 ¹	1,19 x10 ⁻¹	7,54 x10 ⁻³	Hamamçay f.
5	Ekinhisar	58038	7,98 x10 ¹	4,23 x10 ⁻¹	7,79 x10 ¹	4,13 x10 ⁻¹	2,02 x10 ⁻⁴	Hamamçay f.
6	Ekinova	26779	3,89 x10 ⁰	1,15 x10 ⁻²	3,85 x10 ⁰	1,13 x10 ⁻²	1,55 x10 ⁻²	Hamamçay f.
7	Ekinova	30522	4,29 x10 ⁰	1,23 x10 ⁻²	4,23 x10 ⁰	1,21 x10 ⁻²	1,26 x10 ⁻³	Alüvyon
8	Ekinova	26778	1,26 x10 ¹	7,79 x10 ⁻²	1,23 x10 ¹	7,62 x10 ⁻²	3,66 x10 ⁻²	Hamamçay f.
9	Ekinova	26781	7,30 x10 ⁰	6,26 x10 ⁻²	7,17 x10 ⁰	6,14 x10 ⁻²	2,51 x10 ⁻³	Alüvyon
10	Gökçealan	25597	5,12 x10 ¹	2,87 x10 ⁻¹	5,04 x10 ¹	2,82 x10 ⁻¹	1,98 x10 ⁻⁴	Hamamçay f.
11	Gökçealan	25596	1,91 x10 ²	1,02 x10 ⁰	1,89 x10 ²	1,00 x10 ⁰	4,67 x10 ⁻⁴	Hamamçay f.
12	Gökçealan	25595	4,26 x10 ¹	2,41 x10 ⁻¹	4,17 x10 ¹	2,35 x10 ⁻¹	9,63 x10 ⁻³	Alüvyon
13	Gökçealan	48014/B	5,10 x10 ⁰	3,59 x10 ⁻²	4,99 x10 ⁰	3,51 x10 ⁻²	5,15 x10 ⁻³	Hamamçay f.
14	Kırka	58001	6,86 x10 ¹	3,99 x10 ⁻¹	6,75 x10 ¹	3,93 x10 ⁻¹	1,71 x10 ⁻⁴	Alüvyon
15	Kırka	49440	6,28 x10 ⁰	4,83 x10 ⁻²	6,17 x10 ⁰	4,74 x10 ⁻²	4,94 x10 ⁻³	Hamamçay f.
16	Koçhisar	21364	4,35 x10 ¹	4,51 x10 ⁻¹	4,26 x10 ¹	4,42 x10 ⁻¹	2,42 x10 ⁻⁴	Alüvyon
17	Koçhisar	42723	3,54 x10 ¹	3,08 x10 ⁻¹	3,48 x10 ¹	3,03 x10 ⁻¹	5,57 x10 ⁻³	Alüvyon
18	Koçhisar	21363	9,83 x10 ¹	1,03 x10 ⁰	9,71 x10 ¹	1,02 x10 ⁰	3,03 x10 ⁻⁴	Alüvyon
19	Koçhisar	42724	4,09 x10 ¹	4,28 x10 ⁻¹	4,05 x10 ¹	4,24 x10 ⁻¹	7,10 x10 ⁻⁴	Alüvyon
20	Koçhisar	21365	8,81 x10 ¹	8,80 x10 ⁻¹	8,69 x10 ¹	8,69 x10 ⁻¹	2,90 x10 ⁻²	Alüvyon
21	Koçhisar	21366	7,45 x10 ¹	7,53 x10 ⁻¹	7,27 x10 ¹	7,35 x10 ⁻¹	8,04 x10 ⁻³	Alüvyon
22	Koçhisar	53666	4,60 x10 ¹	3,90 x10 ⁻¹	4,56 x10 ¹	3,88 x10 ⁻¹	1,30 x10 ⁻⁴	Alüvyon
23	Kuyucak	58337	1,32 x10 ¹	7,70 x10 ⁻²	1,30 x10 ¹	7,60 x10 ⁻²	7,21 x10 ⁻³	Hamamçay f.

izelge 4.26. (devam)

24	Kuyucak	30180	$1,26 \times 10^1$	$6,43 \times 10^{-2}$	$1,23 \times 10^1$	$6,23 \times 10^{-2}$	$7,45 \times 10^{-3}$	Alüvyon
25	Kuyucak	56863	$6,36 \times 10^0$	$3,83 \times 10^{-2}$	$6,26 \times 10^0$	$3,77 \times 10^{-2}$	$3,81 \times 10^{-3}$	Hamamçay f.
26	Kozvan	56864	$6,37 \times 10^0$	$3,88 \times 10^{-2}$	$6,34 \times 10^0$	$3,86 \times 10^{-2}$	$2,94 \times 10^{-3}$	Alüvyon
27	Kozvan	50530	$2,11 \times 10^1$	$1,72 \times 10^{-1}$	$2,07 \times 10^1$	$1,69 \times 10^{-1}$	$5,74 \times 10^{-3}$	Alüvyon
28	Kozvan	39457	$8,36 \times 10^1$	$6,98 \times 10^{-1}$	$8,26 \times 10^1$	$6,89 \times 10^{-1}$	$4,37 \times 10^{-3}$	Alüvyon
29	Kozvan	56862	$1,17 \times 10^1$	$6,83 \times 10^{-2}$	$1,14 \times 10^1$	$6,67 \times 10^{-2}$	$7,60 \times 10^{-3}$	Alüvyon
30	Örenkaya	25601	$6,61 \times 10^1$	$3,02 \times 10^{-1}$	$6,56 \times 10^1$	$2,99 \times 10^{-1}$	$7,25 \times 10^{-3}$	Alüvyon
31	Örenkaya	25598	$7,81 \times 10^1$	$3,96 \times 10^{-1}$	$7,65 \times 10^1$	$3,89 \times 10^{-1}$	$8,50 \times 10^{-4}$	Alüvyon
32	Örenkaya	43291	$3,09 \times 10^1$	$1,60 \times 10^{-1}$	$3,05 \times 10^1$	$1,58 \times 10^{-1}$	$3,79 \times 10^{-3}$	Alüvyon
33	Örenkaya	53096	$9,50 \times 10^1$	$4,84 \times 10^{-1}$	$9,40 \times 10^1$	$4,79 \times 10^{-1}$	$2,61 \times 10^{-4}$	Alüvyon
34	Sandıklı	14932	$6,55 \times 10^1$	$4,89 \times 10^{-1}$	$6,39 \times 10^1$	$4,78 \times 10^{-1}$	$2,75 \times 10^{-4}$	Alüvyon
35	Sandıklı	14927	$6,02 \times 10^1$	$3,96 \times 10^{-1}$	$5,92 \times 10^1$	$3,90 \times 10^{-1}$	$1,50 \times 10^{-3}$	Hamamçay f.
36	Sandıklı	47852	$4,64 \times 10^1$	$3,51 \times 10^{-1}$	$4,57 \times 10^1$	$3,46 \times 10^{-1}$	$2,36 \times 10^{-3}$	Hamamçay f.
37	Sandıklı	47851	$1,16 \times 10^1$	$9,17 \times 10^{-2}$	1014×10^1	$8,96 \times 10^{-2}$	$5,24 \times 10^{-3}$	Hamamçay f.
38	Sorkun	50662	$2,18 \times 10^1$	$9,60 \times 10^{-2}$	$2,13 \times 10^1$	$9,39 \times 10^{-2}$	$3,18 \times 10^{-3}$	Hamamçay f.
39	Sorkun	58927	$2,33 \times 10^1$	$1,31 \times 10^{-1}$	$2,36 \times 10^1$	$1,33 \times 10^{-1}$	$3,21 \times 10^{-4}$	Hamamçay f.
40	Sorkun	58743	$1,29 \times 10^1$	$7,81 \times 10^{-2}$	$1,27 \times 10^1$	$7,69 \times 10^{-2}$	$7,89 \times 10^{-3}$	Hamamçay f.
41	Sorkun	58744	$1,40 \times 10^1$	$8,28 \times 10^{-2}$	$1,38 \times 10^1$	$8,14 \times 10^{-2}$	$1,39 \times 10^{-3}$	Hamamçay f.
42	Sorkun	36204	$8,15 \times 10^1$	$3,45 \times 10^{-1}$	$8,12 \times 10^1$	$3,44 \times 10^{-1}$	$2,36 \times 10^{-4}$	Hamamçay f.
43	Sorkun	58742	$8,42 \times 10^0$	$4,90 \times 10^{-2}$	$8,29 \times 10^0$	$4,82 \times 10^{-2}$	$4,70 \times 10^{-3}$	Hamamçay f.
44	Ülfeciler	53939	$2,61 \times 10^1$	$1,33 \times 10^{-1}$	$2,59 \times 10^1$	$1,33 \times 10^{-1}$	$8,66 \times 10^{-3}$	Alüvyon
45	Ülfeciler	52325	$1,82 \times 10^1$	$9,25 \times 10^{-2}$	$1,79 \times 10^1$	$9,10 \times 10^{-2}$	$1,06 \times 10^{-5}$	Alüvyon
46	Ülfeciler	52324	$2,39 \times 10^1$	$1,23 \times 10^{-1}$	$2,33 \times 10^1$	$1,20 \times 10^{-1}$	$1,13 \times 10^{-2}$	Alüvyon
47	Ürküt	25040	$1,68 \times 10^1$	$1,10 \times 10^{-1}$	$1,54 \times 10^1$	$1,01 \times 10^{-1}$	$1,52 \times 10^{-2}$	Alüvyon
48	Ürküt	49751	$3,91 \times 10^1$	$2,61 \times 10^{-1}$	$3,88 \times 10^1$	$2,59 \times 10^{-1}$	$3,57 \times 10^{-3}$	Alüvyon
49	Ürküt	25039	$3,86 \times 10^1$	$1,76 \times 10^{-1}$	$3,83 \times 10^1$	$2,74 \times 10^{-1}$	$1,34 \times 10^{-2}$	Alüvyon
50	Ürküt	25041	$3,97 \times 10^1$	$2,62 \times 10^{-1}$	$3,18 \times 10^1$	$2,09 \times 10^{-1}$	$1,28 \times 10^{-2}$	Alüvyon

4.6.4. Yeraltısuyu dinamiği

Yeraltısuyu dinamiği akifer ortamlar içerisinde bulunan yeraltısuyunun hareketini ve mevsimsel değişimlerini açıklamaktadır. Yeraltısuyunun seviyesindeki değişimler ve akım yönleri hidrojeoloji araştırmalarında olduğu gibi pek çok mühendislik jeolojisi araştırmalarında da kullanılan önemli bir veridir. Araştırma alanında bulunan yeraltısuyu kuyuları genel olarak alüvyon ve Hamamçay akiferleri içerisinde açılmıştır. Yaygın verimli akifer ortam olarak tanımlanan bu birimlerde yeraltısuyu seviye değişimleri ve akım yönünün belirlenmesi amacıyla Mayıs-2007 ve Nisan-2010 dönemleri arasında yedi dönem yeraltısuyu statik seviye ölümleri yapılmıştır. Genel olarak Sandıklı ovasında yeraltısuyunun yüzeyden derinliği yağışlı dönemlerde 3,29-75,18 m arasında değişirken, kurak dönemlerde 4,38-83,65 m arasında değişmektedir (izelge 4.27.). Küçük Sincanlı ovasında ise değişim 1,09-4,85 m arasında gerçekleşmektedir. Bu bölgede tarımsal alanların sulanmasında Taşoluk ve Serban gletlerinden faydalanılması yeraltısuyu seviyesindeki değişimin az olmasına neden olmuştur. Sandıklı ovasında gerçekleşen 25 m'ye ulaşan düşümler ovada bulunan çok sayıdaki sondaj kuyusundan özellikle sulama amacıyla aşırı su çekiminin bir sonucudur (izelge 4.27.).

Havzada 2007 yılı Mayıs ve Aralık dönemlerinde sondaj kuyularında yapılan statik seviye ölümlerine göre; Mayıs dönemi yeraltısuyu seviye derinliği 1,09-73,68 m, Aralık dönemi 1,52-75,49 m arasında değişmektedir. Araştırma alanında 2007 yılına ait seviye farkları 0,43 m'den başlayıp 18,21 m'lere kadar düşmektedir. Ovada bu yıl için statik seviye değişimi en fazla (15,49-18,81 m) olan bölge Emirhisar yerleşim merkezi civarıdır (izelge 4.28.).

2008 yılı Mart dönemi yeraltısuyu seviye derinliği 1,11-77,44 m, Kasım dönemi yeraltısuyu seviye derinliği ise 1,65-83,65 m olarak llmştr. 2008 yılına ait seviye farkları 0,54 m'den başlayıp 15,2 m'lere kadar düşmektedir. Söz konusu yıl için statik seviye değişimi en fazla olan bölgeler Kızılören (13,67 m), Ekinova (10,16-17,36 m), Alamescit (11,87 m) ve Sorkun (12,81-15,2 m) civarlarıdır (izelge 4.29.).

Çizelge 4.27. İnceleme alanına ait sondaj kuyularında mevsimlik olarak yapılmış yeraltısuyu statik seviye takibi (2007-2010)

				21.05.2007	03.12.2007	01.03.2008	01.11.2008	27.04.2009	09.11.2009	27.04.2010
No	Yer	Kuyu No	Yükseklik	Mayıs, 2007	Aralık, 2007	Mart, 2008	Kasım, 2008	Nisan, 2009	Kasım, 2009	Nisan, 2010
S-1	Kızılören	58707	1084	13,6	20,3	16,98	30,65	20,11	28,21	20,25
S-2	Ekinova	45880/C	1068	3,9	7,2	5,62	15,78	7,7	13,66	8,16
S-3	Ekinova	26780	1047	7,56	16,41	10,12	27,48	12,38	22,15	10,15
S-4	Ballık	15553	1089	31,89	37,98	35,76	46,47	39,81	47,91	40,89
S-5	Menteş	27506	1070	40,85	42,04	39,28	40,98	28	37,48	30,13
S-6	Alamescit	47602/B	1032	52,24	54,21	48,09	59,96	30,12	48,28	27,5
S-7	Kusura	Şahıs	1084	64,96	68,57	71,05	80,33	75,18	Kapandı	Kapandı
S-8	Kusura	Şahıs	1046	73,68	75,49	77,44	83,65	82,26	Kapandı	Kapandı
S-9	Örenkaya	47120	1022	28,56	32,88	28,68	37,01	28	32,34	23,82
S-10	Hüdai		1019	54,84	56,84	50,85	59,67	52,1	60,96	54,45
S-11	Koçhisar	21366	1005	15,96	18,22	11,83	18,3	9,35	12,79	8,06
S-12	Koçhisar	21365	1009	13,52	15,94	10,6	17,88	9,8	12,88	7,88
S-13	Sorkun	58927	993	25,84	28,15	20,86	33,67	18,5	22,19	12,19
S-14	Sorkun	50662	963	15,26	18,04	11,37	26,57	9,31	10,03	11,13
S-15	Emirhisar		985	29,49	48,3	27,61	35,62	20,92	46,32	22,22
S-16	Emirhisar		981	30,98	46,47	25,81	32,51	18,97	44,67	20,02
S-17	Kırka		998	23,31	25,75	21	28,54	19,07	26,25	17,00
S-18	Kırka		990	10,94	12,59	7,47	15,32	6,86	15,84	5,32
S-19	Ürküt	25040	997	3,52	5,64	3,48	5,98	2,79	3,91	3,06
S-20	Ürküt	25041	997	3,29	5,39	3,74	4,57	3,38	4,38	3,15
S-21	Serban		1213	3,18	4,65	4,48	4,85	3,26	4,47	3,44
S-22	Taşoluk		1001	1,09	1,52	1,11	1,65	0,75	1,07	0,48

Çizelge 4.28. Sandıklı (Afyon) havzası 2007 yılı yeraltısuyu statik seviye ölçümleri

				2007			
				Mayıs		Aralık	
Kuyu No	Yer	Kuyu Ağız Kotu (m)	Seviye Farkı (m)	Yeraltısuyu Derinliği (m)	Yeraltısuyu Kotu (m)	Yeraltısuyu Derinliği (m)	Yeraltısuyu Kotu (m)
S-1	Kızılören	1084	6,7	13,6	1070,4	20,3	1063,7
S-2	Ekinova	1068	3,3	3,9	1064,1	7,2	1060,8
S-3	Ekinova	1047	8,85	7,56	1039,44	16,41	1030,59
S-4	Ballık	1089	6,09	31,89	1057,11	37,98	1051,02
S-5	Menteş	1070	1,19	40,85	1029,15	42,04	1027,96
S-6	Alamescit	1032	1,97	52,24	979,76	54,21	977,79
S-7	Kusura	1084	3,61	64,96	1019,04	68,57	1015,43
S-8	Kusura	1046	1,81	73,68	972,32	75,49	970,51
S-9	Örenkaya	1022	4,32	28,56	993,44	32,88	989,12
S-10	Hüdai	1019	2	54,84	964,16	56,84	962,16
S-11	Koçhisar	1005	3,74	15,96	986,04	18,22	989,78
S-12	Koçhisar	1009	2,42	13,52	995,48	15,94	993,06
S-13	Sorkun	993	2,31	25,84	967,16	28,15	964,85
S-14	Sorkun	963	2,78	15,26	947,74	18,04	944,96
S-15	Emirhisar	985	18,81	29,49	955,51	48,3	936,7
S-16	Emirhisar	981	15,49	30,98	950,02	46,47	934,53
S-17	Kırka	998	2,44	23,31	974,69	25,75	972,25
S-18	Kırka	990	1,65	10,94	979,06	12,59	977,41
S-19	Ürküt	997	2,12	3,52	993,48	5,64	991,36
S-20	Ürküt	997	2,1	3,29	993,71	5,39	991,61
S-21	Serban	1213	1,47	3,18	1209,82	4,65	1208,35
S-22	Taşoluk	1001	0,43	1,09	999,91	1,52	999,48

2009 yılında Nisan dönemi yeraltısuyu seviye derinliği 0,75-82,26 m, Kasım dönemi yeraltısuyu seviye derinliği 1,07-60,96 m arasında değişmektedir. 2009 yılına ait seviye farkları ise 0,32 m'den başlayıp 25,7 m'lere kadar düşmektedir. Bu yıl için statik seviye değişimi en fazla olan bölgeler Ekinova (9,77 m), Mentеш (9,48 m), Alamescit (18,16 m) ve Emirhisar (25,4-25,7 m) yerleşim merkezleri ve civarlarıdır (Çizelge 4.30.). 2007, 2008 ve 2009 yıllarında yapılan ölçümlerde yeraltısuyu derinliği en fazla olan bölgenin Kusura ve çevresi olduğu görülmektedir (Çizelge 4.28.; 4.29.; 4.30.).

Çizelge 4.29. Sandıklı (Afyon) havzası 2008 yılı yeraltısuyu statik seviye ölçümleri

				2008			
				Mart		Kasım	
Kuyu No	Yer	Kuyu Ağız Kotu (m)	Seviye Farkı (m)	Yeraltısuyu Derinliği (m)	Yeraltısuyu Kotu (m)	Yeraltısuyu Derinliği (m)	Yeraltısuyu Kotu (m)
S-1	Kızılören	1084	13,67	16,98	1067,02	30,65	1053,35
S-2	Ekinova	1068	10,16	5,62	1062,38	15,78	1052,22
S-3	Ekinova	1047	17,36	10,12	1036,88	27,48	1019,52
S-4	Ballık	1089	10,71	35,76	1053,24	46,47	1042,53
S-5	Menteş	1070	1,7	39,28	1030,72	40,98	1029,02
S-6	Alamescit	1032	11,87	48,09	983,91	59,96	972,04
S-7	Kusura	1084	9,28	71,05	1012,95	80,33	1003,67
S-8	Kusura	1046	6,21	77,44	968,56	83,65	962,35
S-9	Örenkaya	1022	8,33	28,68	993,32	37,01	984,99
S-10	Hüdai	1019	8,82	50,85	968,15	59,67	959,33
S-11	Koçhisar	1005	6,47	11,83	993,17	18,3	986,7
S-12	Koçhisar	1009	7,28	10,6	998,4	17,88	991,12
S-13	Sorkun	993	12,81	20,86	972,14	33,67	959,33
S-14	Sorkun	963	15,2	11,37	951,63	26,57	936,43
S-15	Emirhisar	985	8,01	27,61	957,39	35,62	949,38
S-16	Emirhisar	981	6,7	25,81	955,19	32,51	948,49
S-17	Kırka	998	7,54	21	977	28,54	969,46
S-18	Kırka	990	7,85	7,47	982,53	15,32	974,68
S-19	Ürküt	997	2,5	3,48	993,52	5,98	991,02
S-20	Ürküt	997	0,83	3,74	993,26	4,57	992,43
S-21	Serban	1213	0,37	4,48	1208,52	4,85	1208,15
S-22	Taşoluk	1001	0,54	1,11	999,89	1,65	999,35

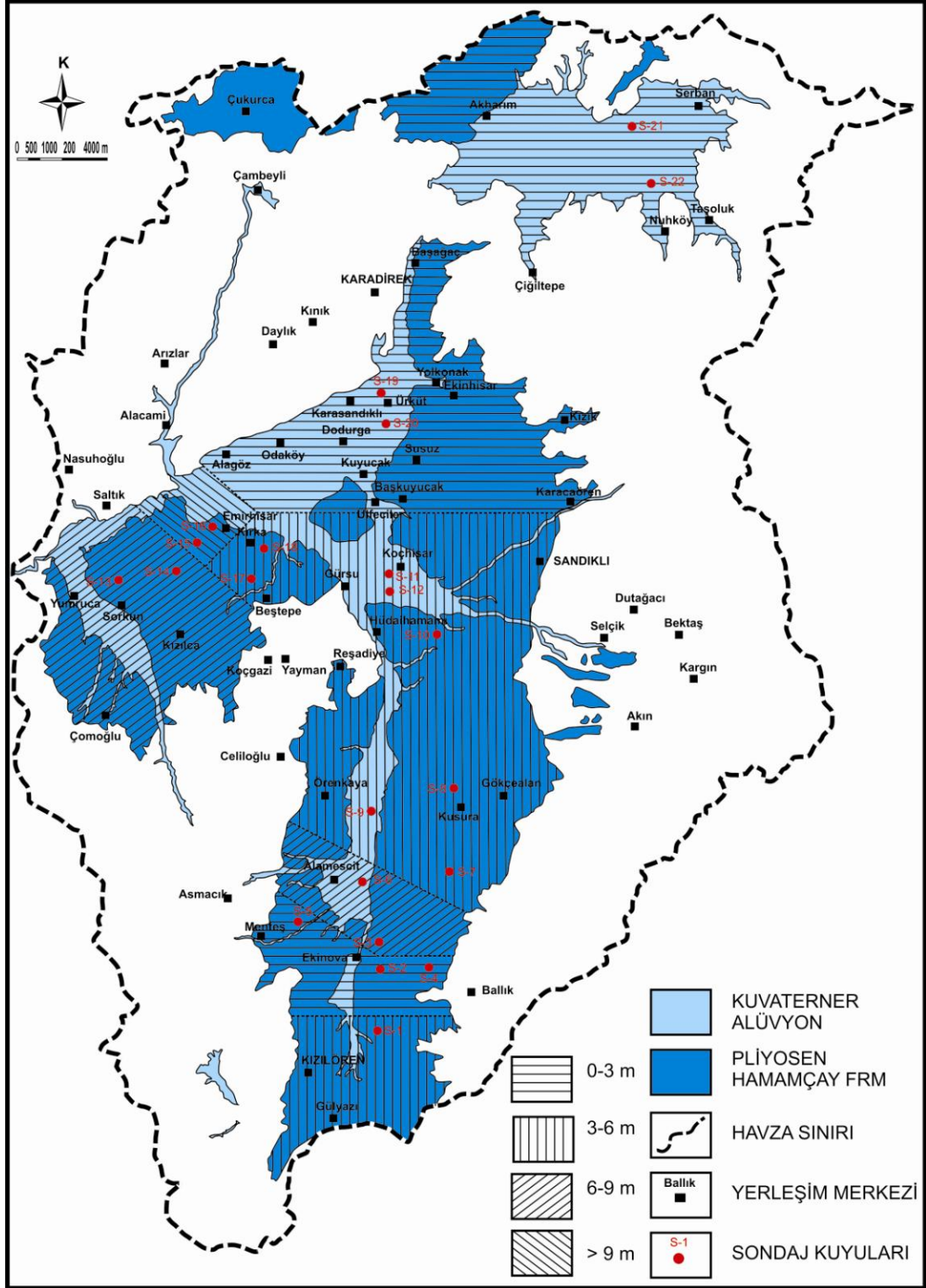
Araştırma alanında sadece Kasım (2009) ve Nisan (2010) dönemleri ölçümleri için yeraltısuyu seviye haritaları hazırlanmıştır (EK-7; EK-8; Çizelge 4.27.). Her iki dönemde de yeraltısuyu seviye eğrilerinin benzer olduğu görülmektedir. Yeraltısuyu akım yönü havzanın güneyinde kuzeydoğuya; batısında kuzeye ve havzanın kuzey doğusunda bulunan Küçük Sincanlı ovasında ise güneye Karadirek çayına doğrudur. Araştırma alanının batısında bulunan Emirhisar doğusunda Akdağ formasyonuna ait kireçtaşına ve Kestel çayına yeraltı boşalımı olduğu görülmektedir. Sandıklı'nın güneyinde ise Sandıklı lavları tabanında bulunan kireçtaşlarına boşalım olduğu tahmin edilmektedir (EK-2). Sandıklı ovasının kuzey batısında hidrolik eğim 0,001 iken, güney doğusunda hidrolik eğim 9×10^{-4} , Küçük Sincanlı ovasında ise 0,01 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.30. Sandıklı (Afyon) havzası 2009 yılı yeraltısuyu statik seviye ölçümleri

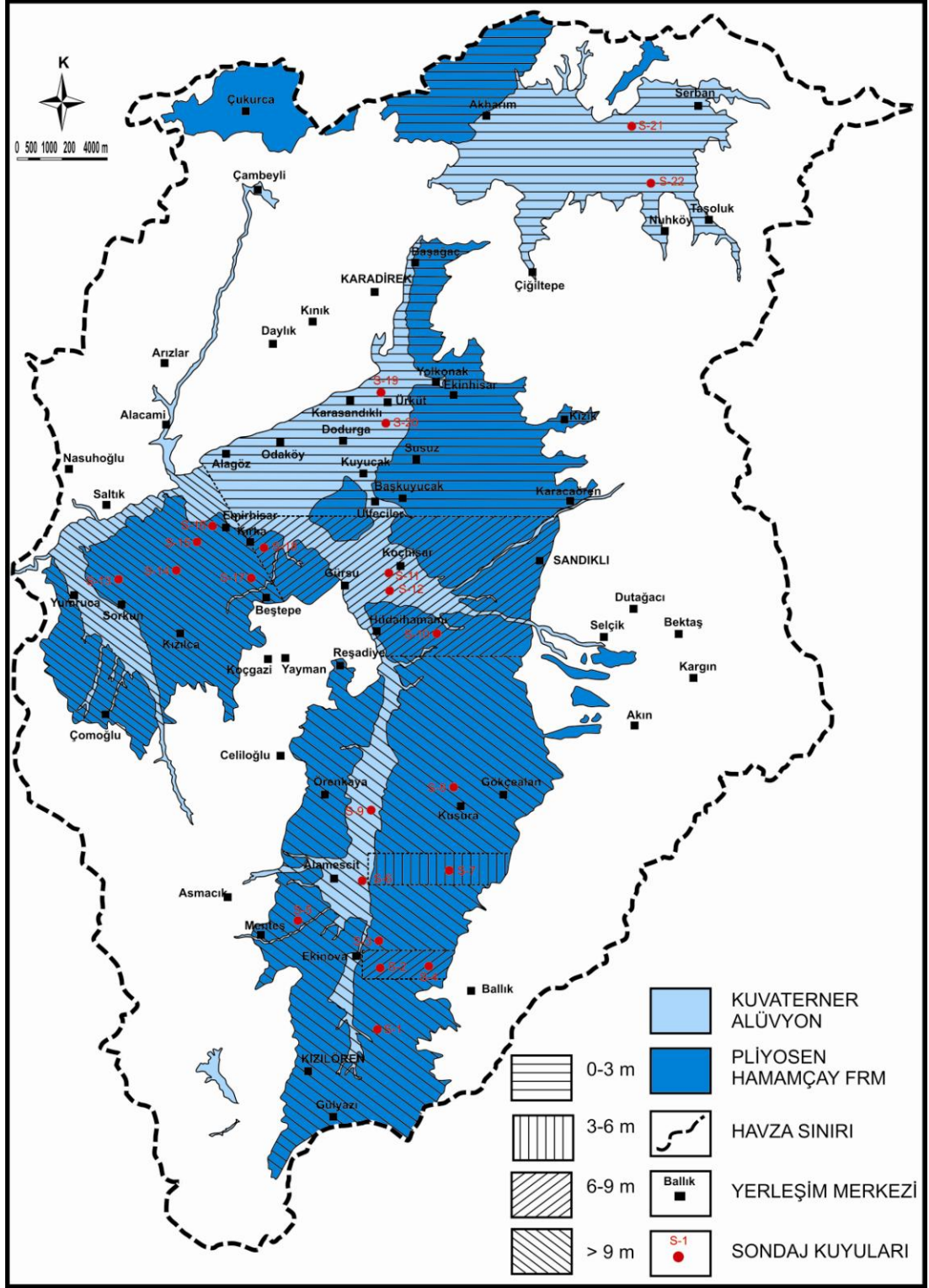
				2009			
				Nisan		Kasım	
Kuyu No	Yer	Kuyu Ağız Kotu (m)	Seviye Farkı (m)	Yeraltısuyu Derinliği (m)	Yeraltısuyu Kotu (m)	Yeraltısuyu Derinliği (m)	Yeraltısuyu Kotu (m)
S-1	Kızılören	1084	8,1	20,11	1063,89	28,21	1055,79
S-2	Ekinova	1068	5,96	7,7	1060,3	13,66	1054,34
S-3	Ekinova	1047	9,77	12,38	1034,62	22,15	1024,85
S-4	Ballık	1089	8,1	39,81	1049,19	47,91	1041,09
S-5	Menteş	1070	9,48	28	1042	37,48	1032,52
S-6	Alamescit	1032	18,16	30,12	1001,88	48,28	983,72
S-7	Kusura	1084	-	75,18	1008,82	Kapandı	1084
S-8	Kusura	1046	-	82,26	963,74	Kapandı	1046
S-9	Örenkaya	1022	4,34	28	994	32,34	989,66
S-10	Hüdai	1019	8,86	52,1	966,9	60,96	958,04
S-11	Koçhisar	1005	3,44	9,35	995,65	12,79	992,21
S-12	Koçhisar	1009	3,08	9,8	999,2	12,88	996,12
S-13	Sorkun	993	3,69	18,5	974,5	22,19	970,81
S-14	Sorkun	963	0,72	9,31	953,69	10,03	952,97
S-15	Emirhisar	985	25,4	20,92	964,08	46,32	938,68
S-16	Emirhisar	981	25,7	18,97	962,03	44,67	936,33
S-17	Kırka	998	7,18	19,07	978,93	26,25	971,75
S-18	Kırka	990	8,98	6,86	983,14	15,84	974,16
S-19	Ürküt	997	1,12	2,79	994,21	3,91	993,09
S-20	Ürküt	997	1	3,38	993,62	4,38	992,62
S-21	Serban	1213	1,21	3,26	1209,74	4,47	1208,53
S-22	Taşoluk	1001	0,32	0,75	1000,25	1,07	999,93

Ayrıca, birbirini takip eden yıllara (2007-2008, 2008-2009, 2009-2010) ait yeraltısuyu seviye ölçümleri kullanılarak üç yıl için ayrı seviye değişim haritaları hazırlanmıştır (Şekil 4.33.; Şekil 4.34.; Şekil 4.35.). 2007-2008 yılları arasında Emirhisar (Şekil 4.33.), 2008-2009 yılları arasında Yumurca, Sorkun, Kızılca, Emirhisar, Kusura, Örenkaya, Alamescit, Ekinova, Kızılören ve Gülyazı (Şekil 4.34.), 2009-2010 yılları arasında ise Yumurca, Sorkun, Kızılca, Emirhisar, Kırka ve Ekinova bölgelerinde seviye değişiminin yüksek (<9m) olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.35.). Ayrıca, 2007 yılından 2010 yılına kadar ki üç yıllık dönemde gerçekleşen seviye değişim verileri aynı harita üzerinde yeniden değerlendirilmiştir (Şekil 4.36.). Havzanın batısında seviye düşümlerinin üç yılda da oldukça yüksek olduğu (<9 m) görülmektedir. Bu bölgelerde Kestel Çayı ve kireçtaşlarına boşalmanın

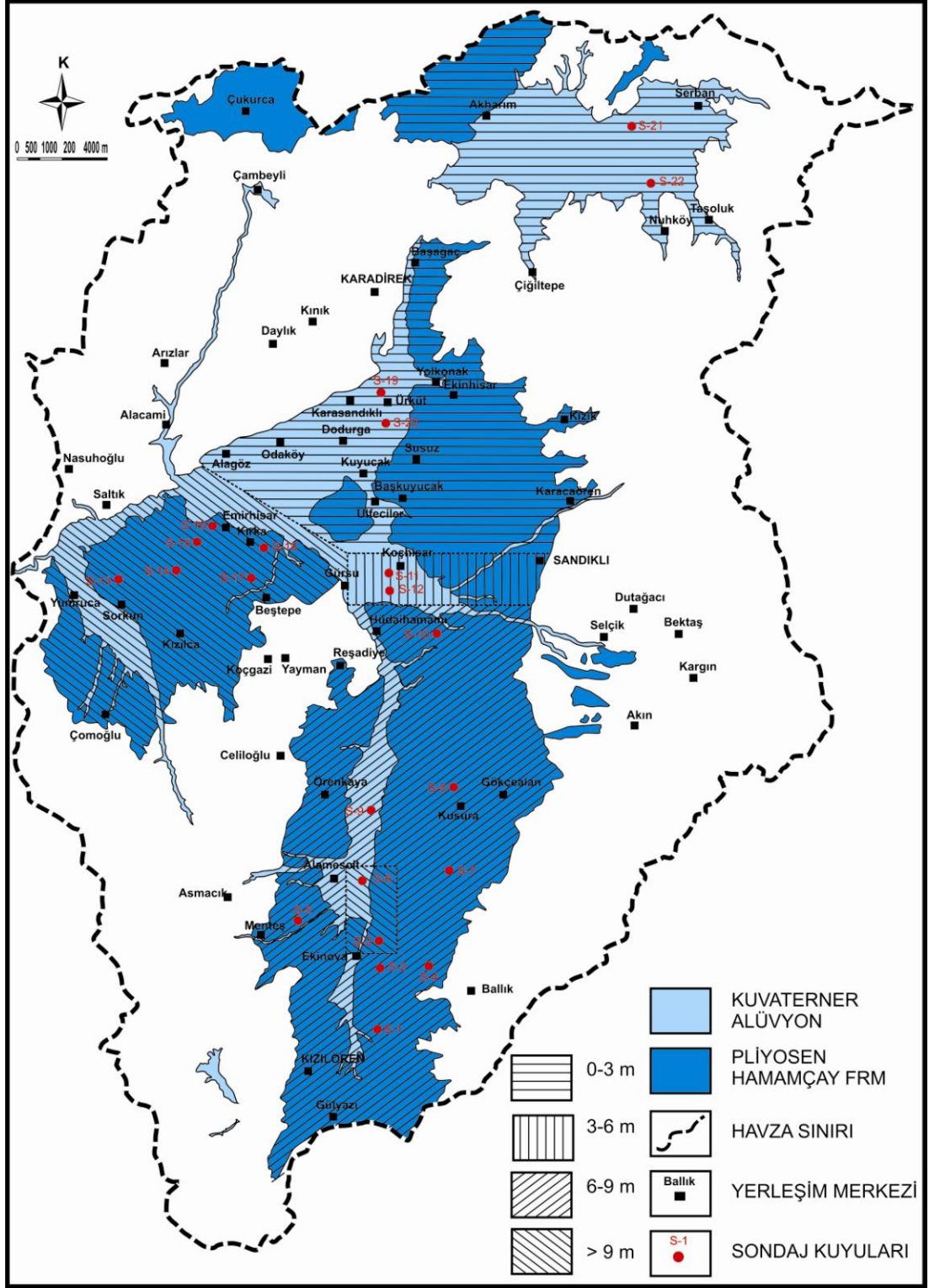
sözkonusudur. Ayrıca, tarımsal faaliyetler amacıyla aşırı su çekimi de bölgede yeraltısu seviyesindeki düşümün artışı pekiştirmektedir (Şekil 4.36.).



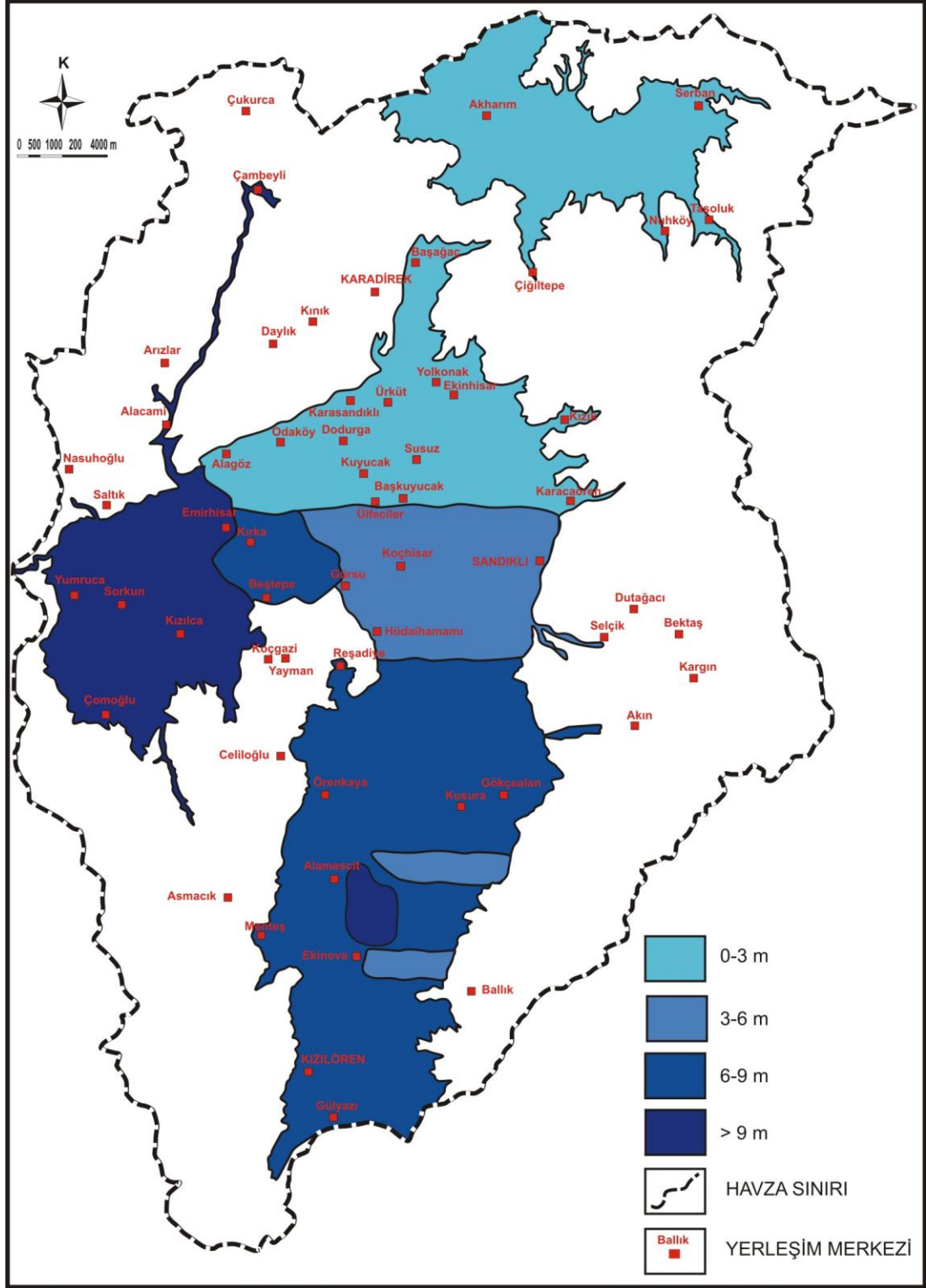
Şekil 4.33. 2007-2008 yıllarına ait seviye değişim haritası



Şekil 4.34. 2008-2009 yıllarına ait seviye değişim haritası



Şekil 4.35. 2009-2010 yıllarına ait seviye değişim haritası



Şekil 4.36. Sandıklı ovası seviye değişiminin bölgesel dağılım haritası

4.7. Hidrojeokimya

İnceleme alanında soğuk ve sıcak su olmak üzere iki önemli akifer tanımlanmaktadır (Bkz. Bölüm 4.6.2.). Ancak, bu çalışmanın amacı havzada soğuk suların kullanılabilirliğine yönelik genel özelliklerinin değerlendirilmesidir. Bu nedenle, Ağustos 2009 ve Nisan 2010 dönemlerinde soğuk yeraltısularını temsil eden lokasyonlardan 24 adet su örneği alınmıştır (Çizelge 4.31.). Bu örneklere ait analiz sonuçları ve yerinde ölçümler kullanılarak farklı diyagram ve haritalar yardımıyla değerlendirmeleri yapılmıştır.

Hüdaî formasyonu inceleme alanının önemli sıcak su akiferidir (Bkz. Bölüm 4.6.2.4.). Hüdaî sıcak sularının hidrojeokimyasal özellikleri Afşin (1991) tarafından olarak ayrıntılı şekilde çalışılmıştır. Bu çalışmada sıcak su akiferi ve bölgenin jeotermal özellikleri ile ilgili gerekli bilgilerin verilmiş olması ve şu anda yürütülen araştırmanın sadece Sandıklı havzasında soğuk su akiferinin kullanımına yönelik olması nedenleriyle yeniden hidrojeokimyasal özelliklerinin değerlendirilmesine gerek görülmemiştir. Ancak, çalışma alanı içerisinde bulunması nedeniyle Hüdaî kaplıcasından alınan bir adet sıcak su örneği soğuk su örnekleri ile birlikte genel değerlendirmeler içerisinde tanımlanmıştır.

Çizelge 4.31. Su örneklerine ait analizler ve özellikleri

Yapılan Analiz ve Ölçüm	I. Dönem Alınma Tarihi	II. Dönem Alınma Tarihi	Analiz Yapılan Yer	Numune Sayısı
Yerinde (insitu) ölçümleri	05-06 Ağustos 2009	27-28-29 Nisan 2010	Arazide	25
Majör Elementler (Anyon, Katyon)	05-06 Ağustos 2009	27-28-29 Nisan 2010	DSİ 18. Böl. Müd. Yas. Arşt. Lab.	25
Azot Bileşikleri (NO ₃ , NO ₂ , NH ₃)	05-06 Ağustos 2009	27-28-29 Nisan 2010	DSİ 18. Böl. Müd. Yas. Arşt. Lab.	25
Ağır Metaller	05-06 Ağustos 2009	27-28-29 Nisan 2010	Canada Acme Analytical Lab Ltd	25
İzotoplar (¹⁸ O, ² H, ³ H)	05-06 Ağustos 2009	27-28-29 Nisan 2010	DSİ Ankara (TAKK) İzotop Lab.	6
Toplam Alfa (α) Toplam Beta (β)	05-06 Ağustos 2009	27-28-29 Nisan 2010	DSİ Ankara (TAKK) İzotop Lab.	6
Pestisitler	27-28-29 Nisan 2009	Eylül 2010	Isparta İl Kontrol Lab.	9
Bakteriyolojik analizler	27-28-29 Nisan 2009	-	Isparta İl Kontrol Lab.	10

izelge 4.32. Sandıklı havzasında alınan su numunelerinin yerinde ölçüm sonuçları (Ağustos 2009)

Numune No	Yer Adı	Analiz Adı**	Koordinat			pH	EC (µs/cm)	T (°C)
			X	Y	Z			
1	Alamescit	1,2,3,4,5	0252150	4247651	1033	7,19	324	16,48
2	Menteş	1,2,5	0246960	4244496	1154	7,90	344	16,08
3	Ekinova	1,2,5	0253262	4243709	1054	7,18	624	17,01
4	Örenkaya	1,2,5	0252025	4250906	1055	7,42	358	26,23
5	Sandıklı	1,2,3,4,5	0259781	4259598	1060	7,78	363	22,58
6	Sandıklı	1,2,5	0261465	4262103	1108	6,31	199	15,21
7	Karacaören	1,2,5	0263671	4263340	1178	6,18	191	18,88
8	Hüdaihamamı*	1,2,3,4,5	0254209	4257662	1029	6,92	3157	62,54
9	Hüdaihamamı	1,2,5	0256655	4257868	1055	8,23	291	31,04
10	Yunusemre	1,2,5	0260833	4257903	1081	7,39	350	14,65
11	Gökçealan	1,2,3,4,5	0259569	4250516	1096	7,90	195	14,87
12	Ballık	1,2,5	0255024	4242996	1088	7,63	313	14,03
13	Kızılören	1,2,5	0257025	4243995	1238	7,53	265	11,90
14	Kızılören	1,2,5	0253774	4238304	1109	7,82	347	19,88
15	Sandıklı	1,2,5	0258846	4260191	1074	7,84	386	33,92
16	Koçhisar	1,2,5	0254924	4260607	1020	7,85	429	18,81
17	Gürsu	1,2,5	0252567	4260050	1013	7,33	749	19,35
18	Beştepe	1,2,5	0247916	4259466	1035	7,53	351	16,10
19	Sorkun	1,2,3,4,5	0242921	4259634	1021	8,34	237	19,81
20	Kırka	1,2,5	0248757	4261376	1013	7,99	335	18,64
21	Emirhisar	1,2,5	0247539	4262747	1007	7,42	432	16,59
22	Sandıklı	1,2,5	0257745	4267668	1039	7,27	240	19,15
23	Nuh	1,2,5	0265619	4277938	1201	6,91	177	17,94
24	Serban	1,2,3,4,5	0269105	4281028	1234	7,16	124	16,15
25	Akharım	1,2,5	0260133	4280594	1244	8,09	247	18,95

*Sıcak su

**1=Anyonlar ve Katyonlar 2= NO₂ , NO₃ , NH₄ 3= O¹⁸ , H² , H³ 4=α, β 5=Ağır Metaller

izelge 4.33. Sandıklı havzasında alınan su numunelerinin yerinde ölçüm sonuçları (Nisan 2010)

Numune No	Yer Adı	Analiz Adı**	Koordinat			pH	EC (µs/cm)	T (°C)
			X	Y	Z			
1	Alamescit	1,2,3,4,5	0252150	4247651	1033	7,78	397	12,39
2	Menteş	1,2,5	0246960	4244496	1154	7,96	311	10,84
3	Ekinova	1,2,5	0253262	4243709	1054	7,83	547	12,94
4	Örenkaya	1,2,5	0252025	4250906	1055	7,95	278	14,51
5	Sandıklı	1,2,3,4,5	0259781	4259598	1060	8,11	375	20,01
6	Sandıklı	1,2,5	0261465	4262103	1108	7,59	224	14,49
7	Karacaören	1,2,5	0263671	4263340	1178	8,23	152	10,92
8	Hüdaihamamı*	1,2,3,4,5	0254209	4257662	1029	7,51	2764	58,61
9	Hüdaihamamı	1,2,5	0256655	4257868	1055	8,19	379	15,00
10	Yunusemre	1,2,5	0260833	4257903	1081	8,60	438	14,43
11	Gökçealan	1,2,3,4,5	0259569	4250516	1096	8,68	227	13,03
12	Ballık	1,2,5	0255024	4242996	1088	8,01	322	12,01
13	Kızılören	1,2,5	0257025	4243995	1238	8,08	269	11,57
14	Kızılören	1,2,5	0253774	4238304	1109	8,09	310	12,80
15	Sandıklı	1,2,5	0258846	4260191	1074	7,95	378	30,88
16	Koçhisar	1,2,5	0254924	4260607	1020	7,96	669	19,29
17	Gürsu	1,2,5	0252567	4260050	1013	8,32	709	20,15
18	Beştepe	1,2,5	0247916	4259466	1035	8,34	392	16,81
19	Sorkun	1,2,3,4,5	0242921	4259634	1021	8,51	135	12,79
20	Kırka	1,2,5	0248757	4261376	1013	8,33	316	16,21
21	Emirhisar	1,2,5	0247539	4262747	1007	8,47	413	13,15
22	Sandıklı	1,2,5	0257745	4267668	1039	8,42	247	15,19
23	Nuh	1,2,5	0265619	4277938	1201	8,52	166	10,71
24	Serban	1,2,3,4,5	0269105	4281028	1234	8,47	134	13,53
25	Akharım	1,2,5	0260133	4280594	1244	8,53	184	13,42

*Sıcak su

**1=Anyonlar ve Katyonlar 2= NO₂ , NO₃ , NH₄ 3= O¹⁸ , H² , H³ 4=α, β 5=Ağır Metaller

4.7.1. Yeraltısularının kalitesini belirten iyon özellikleri

Yeraltısularının kalitesini değerlendirmek amacıyla tanımlanan parametreler kullanım amaçlarına bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Ancak, genel olarak hidrojeokimyasal amaçlı değerlendirmelerde, yerinde ölçümler ile belirlenen sıcaklık (T), hidrojen iyon konsantrasyonu, (pH) ve özgül elektriksel iletkenlik (EC) değerleri yanı sıra sertlik, sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) ve sodyum yüzdesi (%Na) gibi parametrelerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Çizelge 4.32.; 4.33.; Çizelge 4.38.; Çizelge 4.39.).

4.7.1.1. Sıcaklık

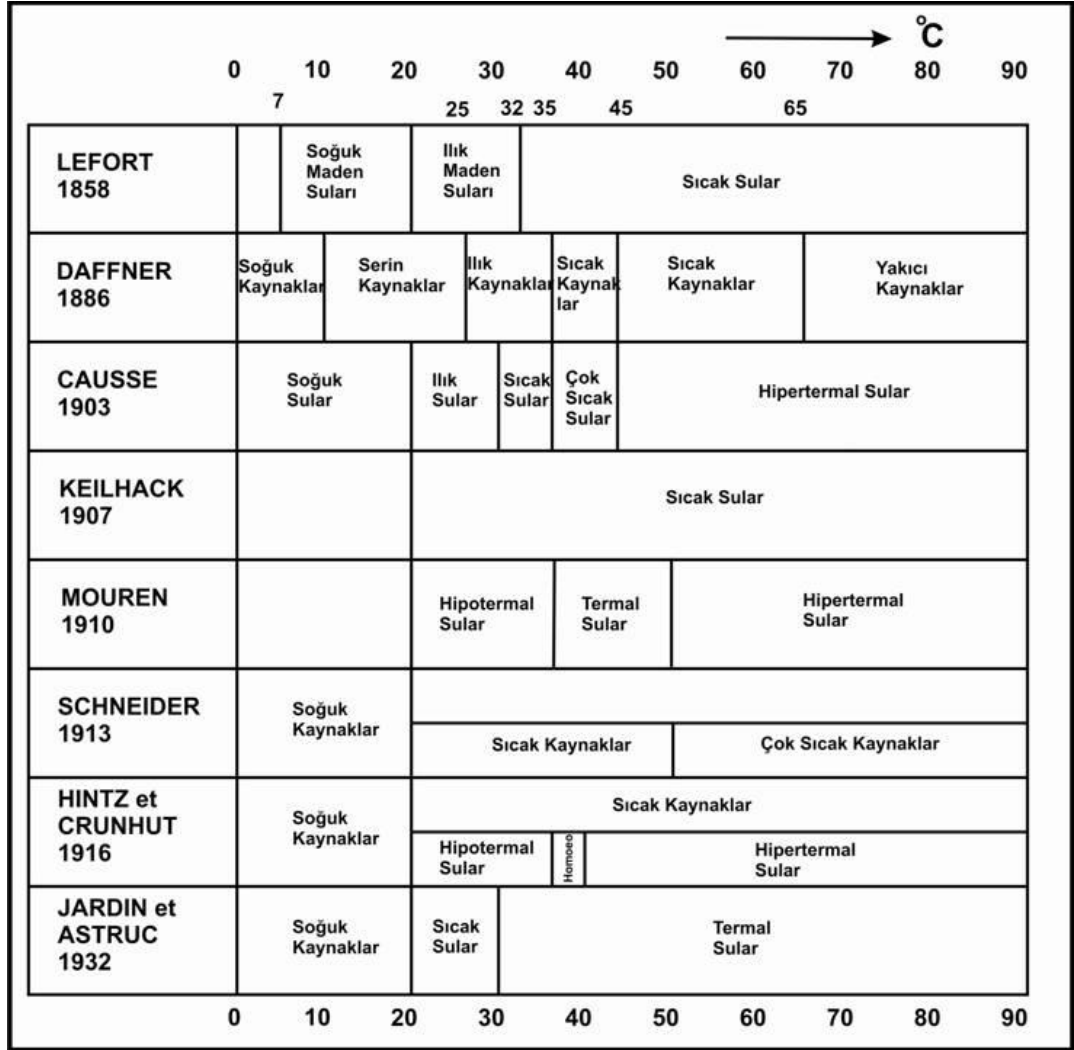
Suların sıcaklığı su tablasının derinliğine, jeografik enleme, yüksekliğe ve etkin volkanizmaya bağlıdır. Yıllık atmosfer sıcaklığı ortalamasından birkaç derece daha sıcak olan kaynak sularına “**termal**” veya “**kaplıca suları**” denilmektedir (Şahinci, 1991). Suların sıcaklığı, endüstride kullanılmalarında önemli bir etkidir. Aşağıda sıcaklığa bağlı genel sınıflama Çizelge 4.34.’de verilmiştir. Ayrıca, sıcaklığa yönelik pek çok sınıflama da bulunmaktadır (Şekil 4.37.).

Çizelge 4.34. Suların sıcaklığa göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991)

<i>Su Sınıfı</i>	<i>Sıcaklık Derecesi</i>
Çok Soğuk Sular	+5 °C’ye kadar
Soğuk Sular	+10 °C’ye kadar
Çok Az Ilık Sular	+18 °C’ye kadar
Az Ilık Sular	+25 °C’ye kadar
Ilık Sular	+37 °C’ye kadar
Sıcak Sular	+40 °C’den fazla olanlar

İnceleme alanında Ağustos 2009 döneminde alınan soğuk su numunelerinde ölçülen sıcaklıklar 11,90-32,92 °C, Nisan 2010 döneminde ise 10,71-30,88 °C değerleri arasında değişmektedir. Burada, Sandıklı civarında açılan 5 ve 15 nolu kuyular ile

Örenkaya civarında bulunan 4 nolu kaynakta su sıcaklıklarının 22 °C'nin üzerinde olması bölgede sıcak su akiferi ile karışımın olduğunu göstermektedir. Bölgede yeraltısuyu akiferinin genel olarak 'çok az ve az ılık sular' sınıfında olduğu görülmektedir. Hüdaihamamı jeotermal sahasında kaynak olarak çıkan mineralli sıcak su örneğinin sıcaklık değeri ise Ağustos-2009 ayında 62,54 °C, Nisan-2010 ayında ise 58,61 °C olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.32.; Çizelge 4.33.).



Şekil 4.37. Suların sıcaklıklarına göre sınıflandırılması (Schoeller, 1962)

4.7.1.2. Sertlik

Suların sertliği başta kalsiyum, magnezyum, bikarbonat iyonları olmak üzere, Ca-Mg sülfat, Ca-Mg nitrat ve az miktarda da demir, alüminyum ve stronsiyum iyonlarından ileri gelmektedir. Ülkemizde suların sertliği için "Fransız Sertlik Derecesi (Fr°)" kullanılmaktadır. 1 Fransız sertlik derecesi = 1 lt suda, 10 mg Ca ve Mg bikarbonat veya buna eşit miktarda diğer sertlik verici iyonların bulunmasıdır (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). Sertlik derecesine göre suların sınıflaması da yapılabilmektedir (Çizelge 4.35.).

Çizelge 4.35. Suların sertlik derecesine göre sınıflandırılması
(Erguvanlı ve Yüzer, 1987)

<i>Sertlik derecesi</i>	<i>Su sınıfı</i>
0-10	Menba suyu
11-22	Tatlı su
23-32	Sert su
33-54	Çok sert su
> 55	Çok fazla sert su

Çalışma alanında Ağustos 2009 döneminde alınan su numunelerinde sertlik değerleri 7,90-37,65 Fr°, Nisan 2010 dönemi için ise 7,85-36,35 Fr° arasında değişmektedir. Havza içerisinde karstik akifer içerisinde açılmış sondaj kuyularından alınan su örneklerinin sertlik değerinin 23 Fr° üzerinde olduğu görülmektedir. Havzada alüvyon ve Pliyosen birimlerinden alınan sular ‘tatlı su’ sınıfında ve karstik akiferden alınan sular ise ‘sert ve çok sert sular’ sınıfındadır. Hüdai mineralli sıcak su kaynağının sertlik değeri ise Ağustos-2009 ve Nisan-2010 aylarında sırasıyla 47,60 ve 48,55 Fr° olarak belirlenmiştir. (Çizelge 4.38.; Çizelge 4.39.).

4.7.1.3. Hidrojen iyon konsantrasyonu (pH)

PH, su içindeki H⁺ ve OH⁻ iyonu konsantrasyonlarının azalıp artış göstermesine bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak yeraltısuları pH <7 olan asit özelliği fazla

sulardır. Yüzey suları ise genellikle $pH > 8$ ' dir ve bazik özelliktedir. Hidrojen iyon konsantrasyonuna göre tanımlamalar yapılmaktadır (Çizelge 4.36.).

Çizelge 4.36. Suların pH'a göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991).

<i>pH</i>	<i>Özellik</i>
> 8,5	Bazik
8,5-7	Bazik Karakterli
7	Nötr
7-4,5	Asit Karakterli
< 4,5	Asidik

Bu çalışmada Ağustos 2009 döneminde alınan numunelerin pH değerleri 6,18-8,34 arasında değişmektedir (Çizelge 4.32.; Çizelge 4.33.). 6,7,8 ve 24 nolu kaynak sularından alınan numunelerin pH değerleri 7'den küçük olduğu için bu sular "Asit karakterli" olarak, geriye kalan numuneler 7'den büyük olduğu için "Bazik karakterli" olarak tanımlanmıştır. Nisan 2010 döneminde alınan numunelerde ölçülen pH değerleri 7,51-8,53. arasında değişmektedir. Suların pH değerleri 7-8,5 arasında olduğu için tüm sular yağışlı dönemi temsil eden bu dönemde "Bazik karakterli" sular özelliğindedir. Yağışlı dönemde yağmur sularının yeraltına süzülmesi sırasında alüvyon birimlerin genellikle $Ca-HCO_3$ bileşikli birimlerden oluşması nedeniyle yeraltısularına OH^- iyonu girişi artar. Bu nedenle Nisan-2010 döneminde yeraltısularının pH değerinin kurak dönem sonuçlarına göre daha bazik olduğu görülmektedir.

4.7.1.4. Özgül elektriksel iletkenlik (EC)

Özgül elektriksel iletkenlik, $+ 25\ C^\circ$ deki $1\ cm^3$ suyun iletkenliğidir. İçme ve sulama suları sınıflamasında bir ölçüt olarak kullanılmaktadır. Çalışma alanında genel olarak soğuk suların özgül elektriksel iletkenlik değerleri, Ağustos 2009 döneminde 124-749 micromho/cm arasında, Nisan 2010 döneminde 134-709 micromho/cm arasında değişiklik göstermektedir. Hüdaihamamı sıcak su kaynağının EC değerleri (3157-2764 micromho/cm) oldukça yüksektir (Çizelge 4.32.; Çizelge 4.33.).

4.7.1.5. Sodyum adsorbsiyon oranı

Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), suların sulamada kullanılabilirliğini tespit etmek için kullanılan bir değerdir. Sandıklı havzasında halk genel olarak geçimini tarımsal faaliyetlerden karşılamaktadır. Bu nedenle havzada sulama suyunun kalitesi oldukça önemlidir. SAR değeri genel olarak sulama suyu sınıflamalarında kullanılmaktadır (Çizelge 4.37.)

Çizelge 4.37. SAR değerine göre sularının sınıflanması

<i>SAR</i>	<i>Su Sınıfı</i>
>10	çok iyi özellikte sulama suları
10-18	iyi özellikte sulama suları
18-26	orta özellikte sulama suları
<26	fena özellikte sulama suları

Havzada yeralan sıcak ve soğuk sularda tespit edilen SAR değerleri Ağustos 2009 döneminde % 0,08-3,07 arasında, Nisan 2010 döneminde 0,09-2,39 arasında değişmektedir (Çizelge 4.38.; Çizelge 4.39). Bölgede tespit edilen SAR değerlerine göre sular "çok iyi özellikte sulama suyu" sınıfında yer almaktadır. Çalışma alanında sıcak su akiferine yakın bölgelerde açılan kuyularda SAR değerlerinin havza geneline göre arttığı görülmektedir. Hüdayi mineralli sıcak su kaynağının SAR değeri ise Ağustos döneminde 4,94, Nisan döneminde 4,69 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.38.; Çizelge 4.39).

4.7.1.6. Sodyum iyon yüzdesi (% Na)

Sulama suyu olarak kullanım olanaklarının değerlendirilmesi araştırmalarında önemli bir parametre de sodyum yüzdesidir. Sulama sularında sodyum yüzdesinin artışı topraktaki kalsiyum ve magnezyumla baz değişimi doğuracağından istenmemektedir (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). % Na değeri sulama suyu sınıflamasını veren ABD Tuzluluk laboratuvarı diyagramında değerlendirme parametresi olarak

kullanılmaktadır (Bkz. Bölüm 4.7.4.2.). Çalışma alanında Ağustos 2009 döneminde alınan suların sodyum yüzdesi değeri 2,58-46,03 arasında, Nisan 2010 döneminde alınan suların sodyum yüzdesi ise 2,61- 39,56 değerleri arasında değişmektedir (Çizelge 4.38.; Çizelge 4.39.). Hüdai sıcak su akiferinden etkilendiği düşünülen sondaj kuyularından alınan örneklerde belirlenen % Na değerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir (özellikle 17 numaralı kuyu). Hüdai mineralli sıcak su kaynağının % Na değeri 50,85 ve 48,91 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.38.; Çizelge 4.39.).

4.7.2.Yeraltısularının kimyasal özellikleri

Majör iyonları oluşturan katyonlar (Na^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^+) ve anyonlar (Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- , CO_3^-) doğal suların toplam iyonik içeriğinin % 90'ından fazlasını oluşturmaktadır. Yeraltısularının dolaşım esnasında kayalarla temas halinde olması iyon içeriğini değiştirmektedir. Suların kimyasal bileşimi akifer ortamın tanımlanması veya temas halinde oldukları kayaların etkisinin belirlenmesi konularında önemli bilgiler sunmaktadır. Çalışma alanında soğuk su akiferine ait 24 adet lokasyondan alınan su örneklerinde majör iyon analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.38 ve Çizelge 4.39.'da verilmiştir. Havzada suların kimyasal özelliklerinin değişiminin gözlenebilmesi amacıyla 1/50 000 ölçekli hidrojeokimya haritası hazırlanmıştır (EK-9). Havza genelinde suların Ca-Mg- HCO_3 içerikleri baskındır. Ancak, Sandıklı civarında bulunan (5,6,7) nolu kuyularda SO_4 içeriklerinin havza geneline göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Sülfat iyonunun kaynakları piritlerin oksidasyonu, volkan gazlarındaki H_2S ve SO_2 oksitlenerek sülfat şekline dönüşmesidir. Ayrıca, bu bölgede Sandıklı lavları ve Soğucak piroklastiklerinin kömürlü seviyeleri SO_4 'ın olası başka bir kaynağıdır (Afşin, 1991). Hüdai sıcak ve mineralli su kaynağında ise Na ve SO_4 bileşiklerinin daha baskın olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.38. Sandıklı havzasında suların hidrojeokimyasal özellikleri (Ağustos 2009)

No	Yer Adı	Numune Tipi	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Sertlik Fr ^o	%Na	SAR	Su Sınıfı
1	Alamescit	Sondaj kuyusu	14,81	1,65	70,141	10,58	8,15	23,21	215	21,85	12,67	0,43	Ca-Mg-HCO ₃
2	Menteş	Sondaj kuyusu	3,35	0,45	66,73	18,97	6,74	19,25	220	24,45	2,58	0,08	Ca-Mg-HCO ₃
3	Ekinova	Sondaj kuyusu	22,7	9,26	118,84	19,46	30,49	69,64	318	37,65	11	0,49	Ca-Mg-HCO ₃
4	Örenkaya	Kaynak	4,56	1,35	74,15	3,89	7,8	25,32	170	20,01	4,03	0,12	Ca-Mg-HCO ₃
5	Sandıklı	Sondaj kuyusu	17,65	4,47	44,29	20,92	19,5	82,31	123,5	19,65	16,04	0,55	Ca-Mg-SO ₄
6	Sandıklı	Kaynak	7,24	4,28	27,86	13,62	10,64	105,24	14	12,55	10,58	0,28	Mg-Ca-SO ₄
7	Karacaören	Kaynak	5,65	4,32	26,25	10,94	7,09	98,64	12,5	11,05	9,41	0,23	Ca-Mg-SO ₄
8	Hüdaihamamı*	Kaynak	248	35,2	142,48	29,31	96,78	450	465,5	47,6	50,85	4,94	Na-SO ₄
9	Hüdaihamamı	Sondaj kuyusu	32,54	3,76	27,05	2,92	9,93	36,32	100	7,95	45,42	1,56	Ca-Mg-HCO ₃
10	Yunusemre	Sondaj kuyusu	9,65	4,89	74,15	15,2	18,43	62,78	180	24,75	7,65	0,27	Ca-Mg-HCO ₃
11	Gökçealan	Sondaj kuyusu	5,68	6,63	40,88	5,35	7,09	2,43	132,5	12,4	8,3	0,22	Ca-Mg-HCO ₃
12	Ballık	Sondaj kuyusu	10,44	7,62	56,71	18,24	9,22	4,57	230	21,65	9,05	0,31	Ca-Mg-HCO ₃
13	Kızılören	Sondaj kuyusu	3,39	0,55	70,54	9,36	3,55	2,32	212,5	21,45	3,15	0,1	Ca-Mg-HCO ₃
14	Kızılören	Sondaj kuyusu	6,62	6,91	49,1	16,29	6,03	7,78	195,5	18,95	6,81	0,21	Ca-Mg-HCO ₃
15	Sandıklı	Sondaj kuyusu	21,26	8,54	34,07	14,59	13,12	60,43	118,5	14,5	22,89	0,76	Ca-Mg-HCO ₃
16	Koçhisar	Sondaj kuyusu	26,81	6,42	58,32	20,19	20,56	81	178	22,85	19,83	0,77	Ca-Mg-HCO ₃
17	Gürsu	Sondaj kuyusu	116	20	77,96	18,36	46,08	20,43	275	27	46,03	3,07	Ca-Mg-HCO ₃
18	Beştepe	Sondaj kuyusu	9,63	22,1	67,33	17,63	12,41	15,67	230	24,05	7,24	0,27	Ca-Mg-HCO ₃
19	Sorkun	Sondaj kuyusu	3,88	2,21	39,28	13,62	4,25	3,78	158	15,4	5,14	0,14	Ca-Mg-HCO ₃
20	Kırka	Sondaj kuyusu	17,21	2,8	49,7	19,09	14,18	22,56	198	20,25	15,4	0,53	Ca-Mg-HCO ₃
21	Emirhisar	Kaynak	12,43	0,41	83,77	23,35	11,34	9,6	212	30,5	7,84	0,3	Ca-Mg-HCO ₃
22	Sandıklı	Sondaj kuyusu	11,55	3,2	34,67	16,42	9,57	78	85	15,4	13,66	0,4	Ca-Mg-HCO ₃
23	Nuh	Kaynak	9,38	1,2	28,66	11,55	7,8	44,65	78,5	11,9	13,93	0,36	Ca-Mg-HCO ₃
24	Serban	Kaynak	9,69	4,2	16,03	9,49	8,86	16,64	74	7,9	19,91	0,47	Ca-Mg-HCO ₃
25	Akharım	Kaynak	8,16	1,2	60,32	19,45	15,24	23,21	203	23,05	7,01	0,23	Ca-Mg-HCO ₃

*Sıcak su

Çizelge 4.39. Sandıklı havzasında suların hidrojeokimyasal özellikleri (Nisan 2010)

No	Yer Adı	Numune Tipi	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ = mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Sertlik Fr ^o	%Na	SAR	Su Sınıfı
1	Alamescit	Sondaj kuyusu	9,2	2,35	109,62	12,4	10,64	42,27	350,25	32,45	5,76	0,22	Ca-Mg-HCO ₃
2	Menteş	Sondaj kuyusu	3,22	0,78	74,15	18,36	7,09	23,53	284,96	26,05	2,61	0,09	Ca-Mg-HCO ₃
3	Ekinova	Sondaj kuyusu	15,18	10,95	110,62	21,28	23,05	42,27	399,07	36,35	8,04	0,35	Ca-Mg-HCO ₃
4	Örenkaya	Kaynak	3,91	1,56	68,54	8,15	10,99	14,41	222,11	20,45	3,95	0,12	Ca-Mg-HCO ₃
5	Sandıklı	Sondaj kuyusu	17,25	8,21	45,69	18,36	23,05	109,99	103,73	18,95	15,79	0,54	Ca-Mg-SO ₄
6	Sandıklı	Kaynak	6,9	5,08	23,05	16,17	23,76	105,19	10,98	12,4	10,31	0,27	Mg-Ca-SO ₄
7	Karacaören	Kaynak	4,37	3,52	20,84	12,65	7,09	100,38	9,15	10,4	8,05	0,19	Ca-Mg- SO ₄
8	Hüdaihamamı*	Kaynak	237,59	42,23	144,49	30,4	100,71	451,48	535,76	48,55	48,91	4,69	Na-SO ₄
9	Hüdaihamamı	Sondaj kuyusu	10,81	4,69	84,37	11,67	14,54	66,28	250,18	25,85	8,16	0,29	Ca-Mg-HCO ₃
10	Yunusemre	Sondaj kuyusu	10,35	6,26	100,4	14,96	13,12	73,49	306,32	31,2	6,57	0,25	Ca-Mg-HCO ₃
11	Gökçealan	Sondaj kuyusu	4,37	5,47	61,52	4,74	7,09	9,13	209,91	17,3	5,01	0,14	Ca-Mg-HCO ₃
12	Ballık	Sondaj kuyusu	8,1	6,43	50,3	16,05	8,16	2,56	209,25	19,15	8,1	0,25	Ca-Mg-HCO ₃
13	Kızılören	Sondaj kuyusu	3,68	0,39	77,55	8,03	7,09	9,13	258,11	22,65	3,4	0,11	Ca-Mg-HCO ₃
14	Kızılören	Sondaj kuyusu	6,9	8,6	62,32	13,13	7,45	8,65	258,72	20,95	6,37	0,21	Ca-Mg-HCO ₃
15	Sandıklı	Sondaj kuyusu	22,31	8,99	34,67	16,9	12,77	70,12	156,21	15,6	22,45	0,78	Ca-Mg-HCO ₃
16	Koçhisar	Sondaj kuyusu	62,1	12,12	81,16	34,9	41,84	162,34	324,02	34,6	27,19	1,45	Ca-Mg-HCO ₃
17	Gürsu	Sondaj kuyusu	92	19,16	78,76	20,55	40,42	174,83	318,52	28,1	39,56	2,39	Ca-Mg-HCO ₃
18	Beştepe	Sondaj kuyusu	10,35	3,91	78,16	16,42	12,77	26,9	294,12	26,25	7,76	0,28	Ca-Mg-HCO ₃
19	Sorkun	Sondaj kuyusu	3,91	1,56	27,66	5,96	4,26	12,97	109,84	9,35	8,17	0,18	Ca-Mg-HCO ₃
20	Kırka	Sondaj kuyusu	11,27	1,56	68,14	11,43	10,99	12,49	258,11	21,7	10,06	0,33	Ca-Mg-HCO ₃
21	Emirhisar	Kaynak	10,81	5,08	18,84	7,66	11,35	8,65	95,8	7,85	21,66	0,53	Ca-Mg-HCO ₃
22	Sandıklı	Sondaj kuyusu	13,11	4,3	36,07	17,51	12,77	63,88	129,97	16,2	14,54	0,45	Ca-Mg-HCO ₃
23	Nuh	Kaynak	10,12	1,56	40,88	7,3	9,22	23,05	137,3	13,2	14,1	0,38	Ca-Mg-HCO ₃
24	Serban	Kaynak	10,35	4,69	23,45	6,57	8,16	8,17	104,34	8,55	19,74	0,49	Ca-Mg-HCO ₃
25	Akharım	Kaynak	5,29	1,56	41,28	6,32	7,8	12,49	140,96	12,9	8,07	0,2	Ca-Mg-HCO ₃

*Sıcak su

4.7.2.1. Sodyum (Na⁺)

Doğal sularda bulunan alkali metallere (Li, Na, K, Rb, Cs) arasında yer kabuğunda en fazla bulunan sodyum elementidir. Doğada sodyum elementleri, genellikle diğer kimyasal bileşiklerle birlikte bulunmaktadır. Magmatik kayalar, kil mineralleri, feldispatlar, feldispatoidler, evaporitler (NaCl gibi) sodyum içeren başlıca kayaç ve minerallerdir. Doğal sularda, sodyum miktarı çok değişkendir; yağış sularında ve çok yağışlı bölgelerdeki akarsularda, sodyum 1 mg/l'den az olduğu halde, sıcak ve kurak iklimlerde bulunan kapalı havzalarda sular 100 000 mg/l'ye kadar sodyum içermektedir. Yeraltısularındaki sodyumun bulunuşu mineral cinsine ve miktarına, pH'a, bozunum süresine, yeraltısuları akım hızına, ortamdaki kalsiyum iyon derişimine, yapay ve doğal kirlenme gibi etkenlere bağlıdır. Yeraltısularında ortalama 64,3 ppm, termal sularda 1387 ppm sodyum bulunmaktadır. Özellikle tarımsal gübreler ile lağım ve fabrika atık sularının yeraltısularına karışması ile yapay olarak sodyum zenginleşmesi meydana gelebilmektedir (Şahinci, 1991).

İçme ve kullanma suyu standartları sodyum için maksimum değeri 200 mg/l olarak belirlemiştir (TS 266). Sodyum iyon yüzdesi, sulama suları için de önemli bir özelliktir (Çizelge 4.43.).

İnceleme alanında Ağustos-2009 döneminde belirlenen sodyum değerleri 3 mg/l – 26,8 mg/l arasında, Nisan-2010 dönemlerine ait sodyum değerleri 3,68 mg/l -62,1 mg/l arasında değişmekte ve sınır değeri aşmamaktadır. Ancak, Gürsu civarında sondaj kuyusundan alınan 17 numaralı örnekte Na içeriği (116-92 mg/l) havzadaki diğer örneklerden fazla miktardadır. Bu durum, Hüdaihamamı mevkiinin hemen kuzeybatısında bulunan bu kuyuda sıcak su akiferi ile etkileşim olabileceği düşünülmektedir. Hüdai mineralli sıcak su kaynağının Na içeriği 248 – 237,59 mg/l olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.38.; Çizelge 4.39.).

4.7.2.2. Potasyum (K⁺)

Potasyum ve sodyum yer kabuğunda yaklaşık olarak eşit miktarlarda bulunan alkali metaller iken, magmatik kayalarda sodyum, çökel kayalarda ise potasyum egemendir. Ayrıca, magmatik ve metamorfik kayalardaki minerallerden mika, lösit, feldispat ve nefelin de bol miktarda potasyum içermektedir. Yeraltında bulunan potasyum miktarı, potasyum içeren minerallerin (K-feldispatlar gibi) bozunumuna, duraylı potasyum minerallerinin oluşumuna (illit), iyon değişimine ve gözenek sularının yeraltısularını beslemesine bağlıdır. Kurak iklimlerde yeraltısularında 6,2 ppm ve 0,1-98 ppm aralığında değişmektedir. Kurak iklimlerde yüzey ve yeraltısuları, nemli iklimlerdekilere göre daha fazla potasyum içermektedir. Sıcak sularda ise potasyum derişimi sıcaklıkla artmaktadır. Kayaların bileşimindeki minerallerin bozunumu, suyun sıcaklığına bağlıdır. Zirai faaliyetlerde potasyumlu gübre kullanımı da potasyum oranını artırmaktadır (Şahinci, 1991).

İnceleme alanında Ağustos-2009 döneminde potasyum değerleri 0,4 –22,18 mg/l arasında iken, Nisan 2010 döneminde 0,39 –19,16 mg/l arasında değişmekte ve sınır değeri aşmamaktadır. Havza genelinde soğuk su akiferi için en yüksek değerlerin yine Hüdaihamamı mevki yakınında bulunan Koçhisar, Gürsu ve Beştepe bölgelerinde açılan sondaj kuyularında elde edilmiştir. Hüdai mineralli sıcak su kaynağının K içeriği 35,2 – 42,23 mg/l olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.38.; Çizelge 4.39.).

4.7.2.3. Kalsiyum (Ca⁺²)

Kalsiyum ağırlık yüzdesi bakımından yer kabuğunda oksijen, silisyum, alüminyum ve demirden sonra beşinci sırayı almaktadır. Kalsiyum magmatik ve metamorfik kaya minerallerinde bulunmaktadır. Yeraltısularındaki kalsiyumun kökeni, kalsit, aragonit, dolomit, anhidrit ve jipstir. Bunlardan başka magmatik ve metamorfik kaya minerallerinden apatit, vollastonit, flourit, amfibol ve piroksen grupları ile bazı feldispatların bozunumundan ortaya çıkan kalsiyum iyonları yeraltısularına geçer.

Yeraltıları, çoğunlukla kalsiyum bikarbonatlı, daha az oranda da jips yataklarından gelen sulara kalsiyum sülfatlı sular şeklinde gözlenmektedir (Şahinci, 1991).

Ağustos-2009 döneminde kalsiyum değerleri 16,03 mg/l – 118,84 mg/l, Nisan-2010 döneminde ise 20,84 mg/l – 110,62 mg/l arasında belirlenmiştir. Havzada karstik akiferin boşalmasını alan yeraltılarının Ca içeriklerinin yüksek olduğu görülmektedir. Hüdai mineralli sıcak su kaynağının Ca içeriği 142,48-144,49 mg/l olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.38.; Çizelge 4.39.).

4.7.2.4. Magnezyum (Mg⁺²)

Magnezyum yer kabuğunda % 2'lik bir oranla ikinci sırada yer almaktadır. Magnezyumun hammaddesi dolomit, magnezit, deniz suyu, tuz çökelleri ve tuz gölleridir. Tatlı sulara oranı 4,1 ppm kadardır. Oldukça tuzlu yeraltılarında magnezyum iyonu 2-3 g/l'yi geçmez. Yeraltılarında toplam çözülmüş tuz miktarı 90-100 g/l iken, magnezyum iyonları 2-3 g/l kadardır. Yeraltılarında bulunan magnezyumun kaynağı dolomit, evaporit, magmatik kaya mineralleri (olivin, biyotit, hornblend, ojit) ve metamorfik kayalarda bulunan serpantin, talk, diopsid, tremolit mineralleridir. Yeraltılarında magnezyum iyonları, kalsiyum iyonlarına oranla daha az bulunmaktadır. Yer kabuğunda da magnezyum iyonlarının kalsiyum iyonlarından daha az olması, dolomitlerin suda az çözünmesine bağlıdır. Genellikle yeraltılarında magnezyum 1 mg/l ile 40 mg/l arasında yer almaktadır. Magnezyumca zengin sulara bu oran 100 mg/l'ye ulaşabilmektedir. İçme sularında magnezyum miktarı 125 mg/l'yi geçmemelidir (Şahinci, 1991).

Ağustos-2009 dönemi su örneklerinde Mg içeriği 3,89– 23,35 mg/l, Nisan-2010 dönemi için 4,74 – 34,90 mg/l arasında değişmekte ve sınır değeri aşmamaktadır. Hüdai mineralli sıcak su kaynağının Mg içeriği ise 29,31-30,40 mg/l olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.38.; Çizelge 4.39.).

4.7.2.5. Alkalinite (HCO_3^- ve CO_3^{2-})

Suyun alkalinitesi, asidi nötr hale getirme özelliğidir. Sularda alkalitenin başlıca kaynağı HCO_3^- ve CO_3^{2-} 'dir. Yeraltısularında 10 mg/l'den fazla, 800 mg/l'den az HCO_3^- iyonu bulunmaktadır. Genel olarak yeraltısularındaki HCO_3^- oranı 50-400 mg/l arasında değişmektedir. İçme suyu standartlarına göre sularda toplam karbonat miktarının 500 mg/l'yi geçmemesi gerekmektedir. Sulama sularında ise bu iyonların egemen oluşu sodyum tehlikesini azaltıcı etki oluşturmaktadır (Şahinci, 1991).

Ağustos-2009 döneminde HCO_3 değerleri 12,5 –230 mg/l arasında iken, Nisan- 2010 döneminde ise 9,15– 399,07 mg/l arasında değişmekte ve sınır değeri aşmamaktadır. Hüdaî mineralli sıcak su kaynağının HCO_3 içeriği ise 465,5-535,76 mg/l olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.38.; Çizelge 4.39.).

4.7.2.6. Klorür (Cl)

Klor halojen grubunun (F, Cl, Br, I) bir elementidir ve diğerlerine oranla doğada daha fazla bulunmaktadır. Yerkabuğunda % 0,045'lik bir oranla onaltıncı sırada yer almaktadır. Tatlı sularda altıncı sırada bulunan klorürün tüm tuzları suda çözünür ve çözünürlüğü asid, alkali, pH'dan fazla etkilenmez. Klorür tuzlarının büyük bir kaynağı evaporitlerdir. Yağışların fazla olduğu bölgelerdeki sığ yeraltısularında 30 mg/l'den az klorür iyonu izlenirken, kurak bölgelerde 1000 mg/l'yi geçebilmektedir. Derin yeraltısuları ve termal sular 200 g/kg klorür tuzu içerebilmektedir. 150 mg/l'den az klorürlü sular her türlü kullanım için uygundur. 250 mg/l'den fazla klorür bulunduran sular içmeye elverişli değildir. 350 mg/l'den fazla klorürlü sular ise endüstride ve sulamada sorun oluşturabilmektedir (Şahinci, 1991). Dünya Sağlık Örgütü İçme suyu standartları (WHO) ve Türk İçme Suyu standartlarına (TS 266) göre de klorür için sınır değeri 250 mg/l olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.43.; Çizelge 4.44.).

İnceleme alanında. Ağustos-2009 dönemi için Cl içeriği 3,55 –46,08 mg/l, Nisan-2010 döneminde ise 4,26–41,84 mg/l arasında belirlenmiştir. Hüdaî mineralli sıcak

su kaynağının Cl içeriği ise 96,78- 100,71 mg/l olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.38.; Çizelge 4.39.).

4.7.2.7. Sülfat (SO₄⁻²)

Sülfürlü mineraller su ile temas ederek bozdukları zaman oksitlenerek sülfat iyonları oluşmakta ve bu iyonlar suya geçebilmektedir. Kükürdün göçü çoğunlukla sülfat şeklinde gerçekleşmektedir. Yani bitkiler su ve topraktan kükürtü sülfat şeklinde almaktadır. Kurak bölgelerde yeraltısularında genellikle sülfat iyonu fazladır. Jeokimyasal bakış açısından sülfat iyonunun başlıca kaynakları volkanlar, piritlerin oksidleşmesi, jips ve anhidritlerin suda çözünmesi, organik maddelerin bozunumu ile atmosfere ulaşan H₂S gazının fotokimyasal yolla oksidleşmesi, deniz sularından buharlaşma ve rüzgar etkisiyle atmosfere taşınması, fabrika ile konutlarda yakılan petrol, kömür, doğal gazların kül ve dumanlarının atmosfere atılması gibi nedenlerdir. Yağış sularında 1 mg/l'den fazla sülfat iyonu bulunabilmektedir. Bu değer bazı durumlarda 10 mg/l'ye de erişebilmektedir. İçme sularında 200 mg/l, sulamada ise 500 mg/l sülfat iyonları için sınır değer olarak belirlenmiştir. Sülfatlar bitki gelişiminde önemli yer tutmaktadır. Magmatik ve metamorfik kayalardan veya bunların ürünlerinden oluşan tortul kayalardaki yeraltısularında 100 mg/l'den az sülfat bulunabilmektedir (Şahinci, 1991). Dünya Sağlık Örgütü İçme suyu standartları (WHO) ve Türk İçme Suyu standartlarına (TS 266) göre sülfat elementi için sınır değer 250 mg/l olarak verilmiştir (Çizelge 4.43.; Çizelge 4.44.).

İnceleme alanında Ağustos-2009 döneminde sülfat değeri 2– 82,31 mg/l, Nisan-2010 döneminde ise 2,56 – 174,83 mg/l arasında belirlenmiştir. Hüdai mineralli sıcak su kaynağının SO₄ içeriği ise 450-451,48 mg/l olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.38.; Çizelge 4.39.).

4.7.3. Suların kimyasal özelliklerine göre sınıflandırılması

Suların kimyasal özellikleri kullanılarak çok sayıda sınıflama yapılabilmektedir. Bu sınıflandırmalar havza bazında yapılan hidrojeolojik araştırmalarda benzer

özelliğindeki suların kolaylıkla değerlendirilmesinde önemli katkılar sağlamaktadır. Aşağıda Nisan-2010 döneminde alınan örneklere ait analiz sonuçları farklı diyagramlar üzerinde değerlendirilerek sınıflandırılmış ve tanımlamaları verilmiştir.

4.7.3.1. Schoeller (1955'e) göre suların sınıflandırılması

Schoeller'in (1955) sınıflamasında klorür, sülfat ve karbonat-bikarbonat içerikleri dikkate alınmaktadır (Çizelgeler). Klorür derişimi sınıflamasına göre Sandıklı havzasındaki suların tamamı "normal klorürlü" sular sınıfında yer almaktadır (Çizelge 4.40.). Sülfat içeriğine göre Sandıklı havzasındaki soğuk suların genel olarak tamamı 6 mek/l'den küçük değerlere sahip olduğu için "normal sülfatlı" sular sınıfına girmektedir. Sadece Hüdai mineralli sıcak su kaynağı "oligosülfatlı sular" sınıfında yer almaktadır (Çizelge 4.41.). Çalışma alanında soğuk suların geneli karbonat ve bikarbonat derişimi bakımından "normal karbonatlı sular" sınıfında yer almaktadır. Hüdai mineralli sıcak su kaynağı ise "Hiperkarbonatlı sular" sınıfındadır (Çizelge 4.42.).

Çizelge 4.40. Suların klorür derişimine göre sınıflandırılması

<i>Su Sınıfı</i>	<i>Klorür Derişimi</i>
Hiperkorürlü sular	Klorür miktarı 700 mek/l'den doygunluğa kadar olan sular
Klorotalastik sular	Klorür miktarı 420-700 mek/l arasındaki sular
Klorürce zengin sular	Klorür miktarı 140-420 mek/l arasındaki sular
Orta klorürlü sular	Klorür miktarı 40-140 mek/l arasındaki sular
Oligoklorürlü sular	Klorür miktarı 15-40 mek/l arasındaki sular
Normal klorürlü sular	Klorür miktarı 15 mek/l'den az sular

Çizelge 4.41. Suların sülfat derişimine göre sınıflandırılması

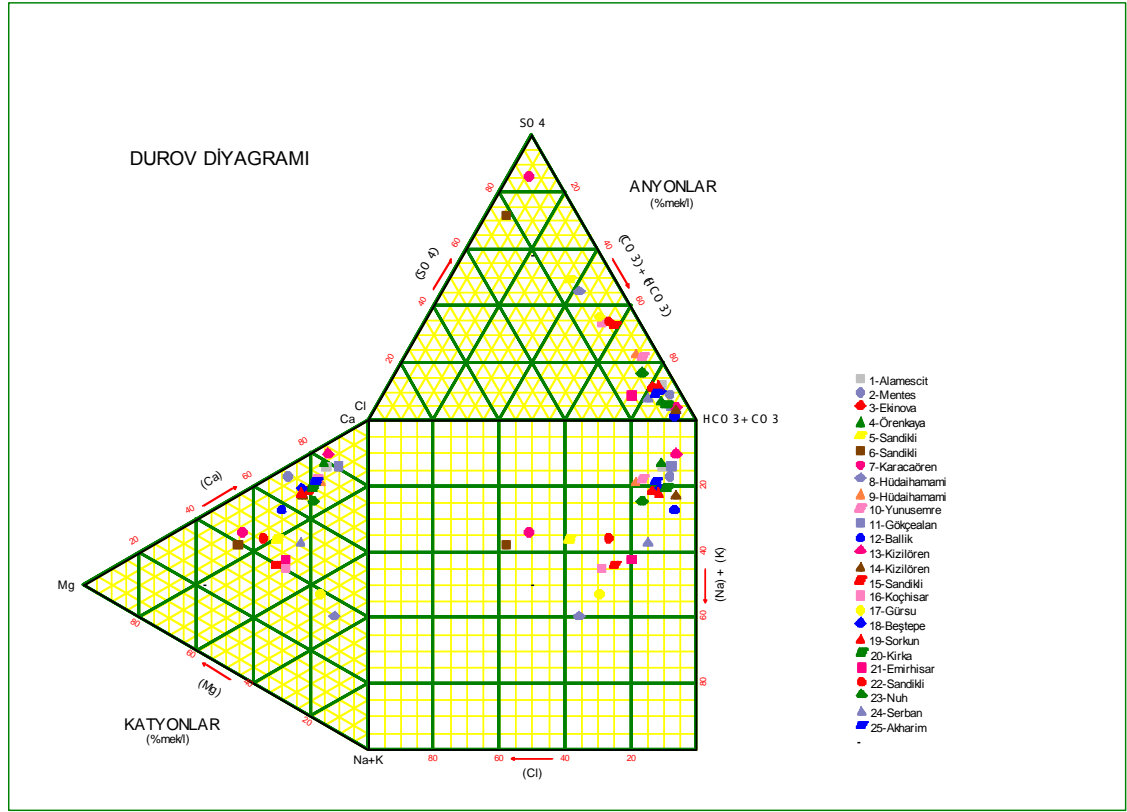
<i>Su Sınıfı</i>	<i>Sülfat Derişimi</i>
Hiposülfatlı sular	Sülfat miktarı 58 mek/l'den fazla olan sular
Sülfatlı sular	Sülfat miktarı 24-58 mek/l arasındaki sular
Oligosülfatlı sular	Sülfat miktarı 6-24 mek/l arasındaki sular
Normal sülfatlı sular	Sülfat miktarı 6mek/l'den az sular

Çizelge 4.42. Suların karbonat+bikarbonat derişimine göre sınıflandırılması

<i>Su Sınıfı</i>	<i>Karbonat+Bikarbonat Derişimi</i>
Hiperkarbonatlı sular	HCO ₃ ⁻ , CO ₃ ⁼ toplam miktarı 7 mek/lt'den fazla olan sular
Normal karbonatlı sular	HCO ₃ ⁻ , CO ₃ ⁼ toplam miktarı 2-7 mek/lt arasındaki sular
Hipokarbonatlı sular	HCO ₃ ⁻ , CO ₃ ⁼ toplam miktarı 2 mek/lt'den az olan sular

4.7.3.2. Piper diyagramına göre suların sınıflaması

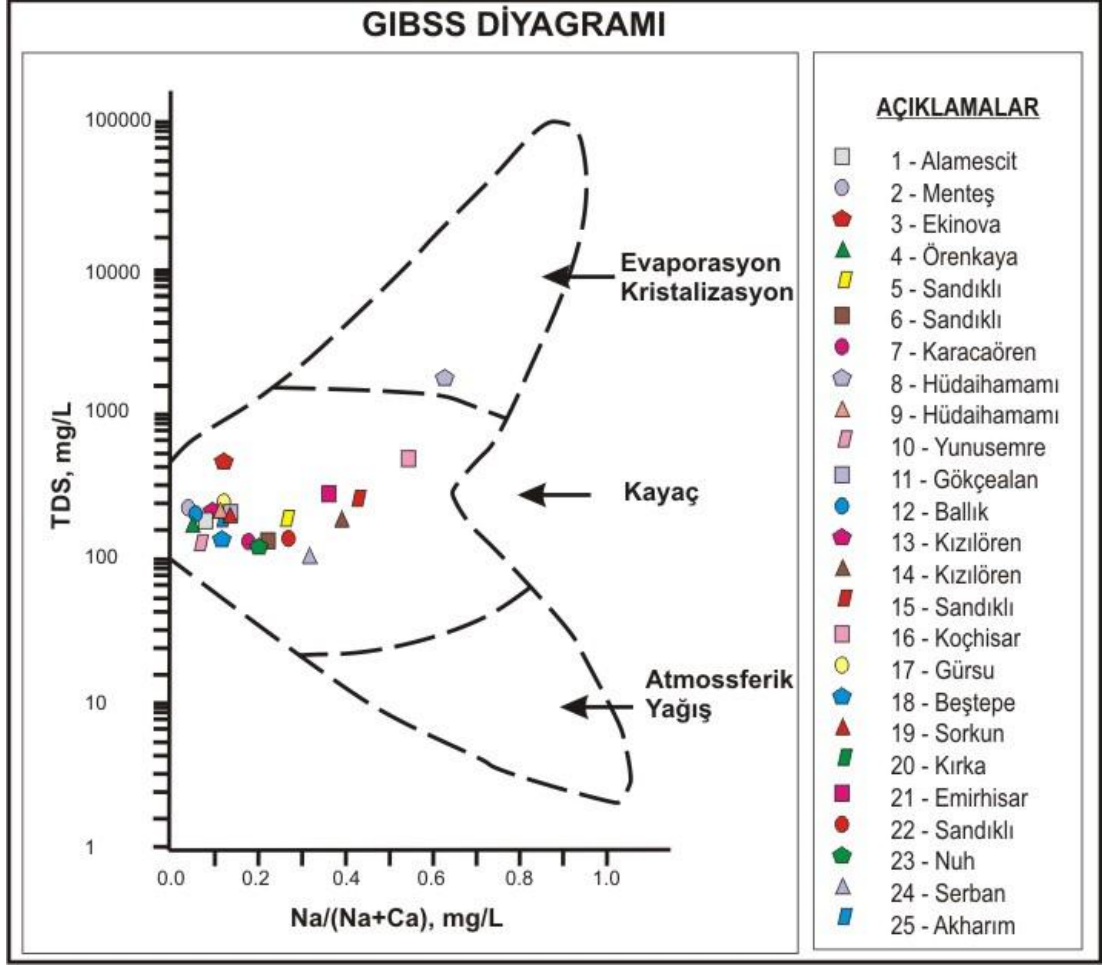
Piper diyagramı suların genel anyon-kasyon içeriğini dikkate alarak su fasiyeslerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Havza genelinde akifer ortamda alkali toprak elementlerin toplamı, alkali elementlerin toplamından büyüktür ($Ca^{+} + Mg^{+} > Na^{+} + K^{+}$). Çalışma alanında soğuk yeraltısuların piper diyagramına göre genel olarak Ca-Mg-HCO₃'lı sular fasiyesinde olduğu görülmektedir. Ancak, Sandıklı (5 nolu örnek) ve Karacaören (7 nolu örnek) civarında açılan sondaj kuyularında Ca-Mg-SO₄ 'lı su fasiyesi belirlenmiştir. Yine Sandıklı civarındaki 6 nolu örnekte ise Mg-Ca-SO₄'lı su sınıfı tespit edilmiştir. (Şekil 4.38.). Bu bölgelerde Pliyosen Hamamçay formasyonunun tabanında Sandıklı lavları ve Soğucak piroklastikleri gözlenmektedir. Bu birimleri kesen sondaj kuyularında kaya-su etkileşimine bağlı olarak sülfat iyonunda artış gözlenmektedir. Hüdai mineralli sıcak su kaynağı ise Na-SO₄'lı su fasiyesini temsil etmektedir.



Şekil 4.39. Durov diyagramı (Nisan 2010)

4.7.3.4. Gibbs diyagramına göre suların sınıflaması

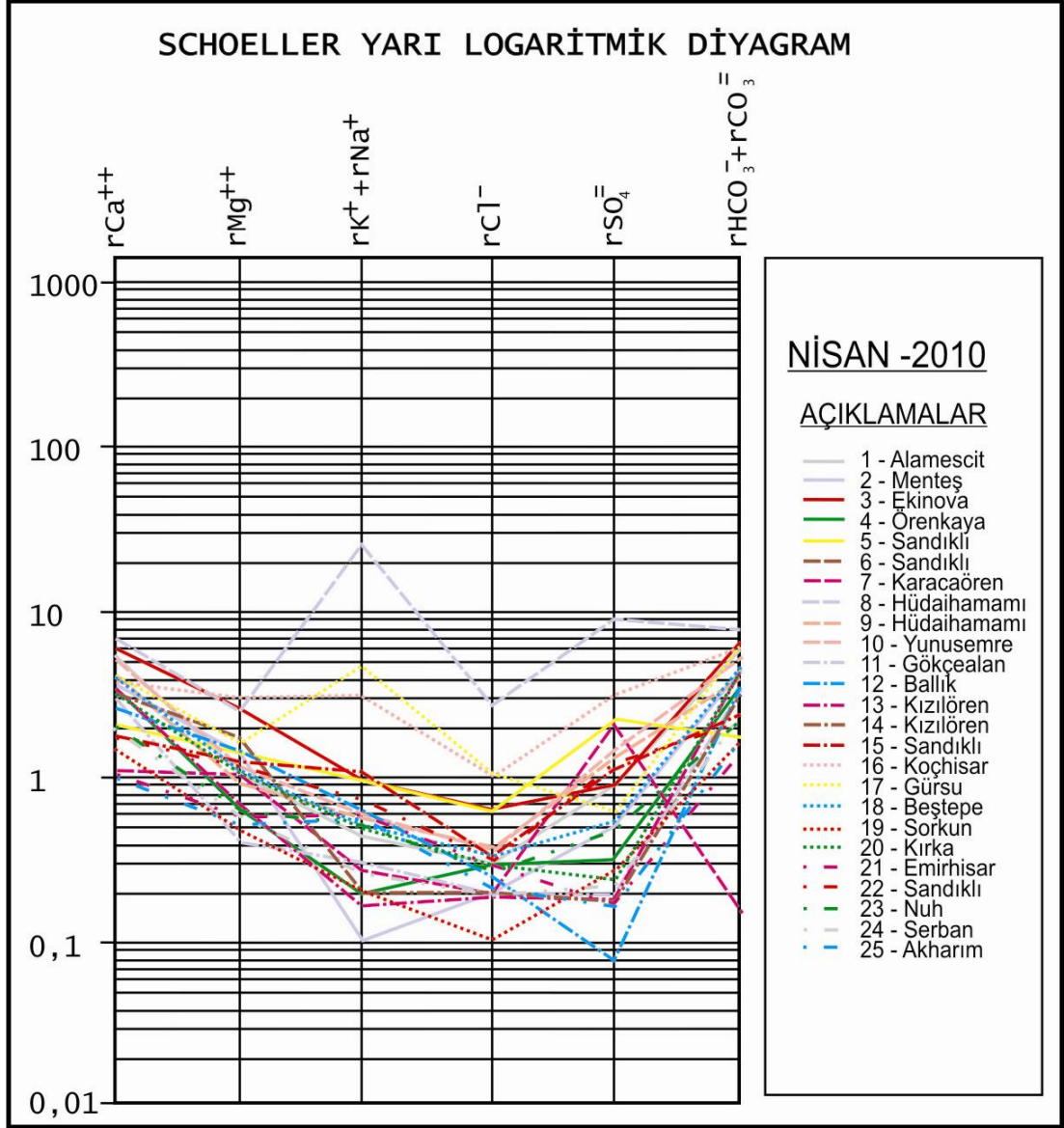
Gibbs diyagramı, sudaki iyonik oranları kullanarak, suyun yapısındaki bileşimi ve kökenini tanımlayan bir sınıflama ortaya koymaktadır. Gibbs diyagramına göre havzada suların geneli “Kayaç Baskın” bölgede yer almaktadır. Bu durum, su ile direkt ilişkili olan kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışmasının olduğunu göstermektedir. Hüdaı mineralli sıcak su kaynağı ise “Evaporasyon-Kristalizasyon Baskın” bölgede yer almaktadır. Hüdaıhamamı sıcak suyuna ait bu örneğin mağmatizma kökenli olduğunu göstermektedir. Bu sebeple su yoğun buharlaşma etkisi altında kalmış ve çözülmüş toplam iyon miktarı da oldukça yükselmiştir (Şekil 4.40.).



Şekil 4.40. Gibbs Diyagramı (Nisan 2010)

4.7.3.5. Schoeller yarı logaritmik diyagramına göre suların sınıflaması

Schoeller yarı logaritmik diyagram, suların kökenini iyon dağılımı ile ortaya koymaktadır. Diyagramda benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına sahip sular benzer pik değerler vermektedirler. Havzada soğuk suların genel kimyasal yapısının benzer olduğu görülmektedir. Hüdai mineralli sıcak su kaynağı ise hem iyon içeriklerinin yüksek olması hem de Na ve SO_4 içeriklerinin havza geneline göre belirgin farklılıklar göstermesi ile ayrılabilir (Şekil 4.41.).



Şekil 4.41. Schoeller yarı logaritmik diyagram (Nisan 2010)

4.7.4. Suların kullanım özellikleri

Suların kimyasal özellikleri farklı amaçlarla kullanılabilme koşullarını denetlemektedir. Sandıklı havzasında yeraltısuları içme ve sulama amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bölümde suların kullanılabilme özellikleri farklı standartlar ve diyagramlar kullanılarak değerlendirilmiştir.

4.7.4.1. Suların içilebilirlik özellikleri

Sandıklı (Afyon) havzasında yeraltısularının içme suyu olarak değerlendirilmesinde öncelikle Türk İçme Suyu (TS 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartları kullanılmıştır (Çizelge 4.43; Çizelge 4.44.). Havzada bulunan soğuk su akiferinden alınan örneklerin fiziksel özellikler ve genel anyon-kasyon içerikleri açısından sınır değerleri aşımadığı görülmektedir. Bu standartlarda belirtilen diğer kimyasal ve bakteriyolojik özelliklere ait değerlendirmeler ilgili bölümlerde tanımlanmıştır.

Çizelge 4.43. Türk İçme Suyu Standartı (TS 266)' na göre suların sınıflandırılması

Sınıflar		
TS 266 Standard kapsamına giren sular;		
Sınıf 1 - Kaynak (memba) suları.		
Sınıf 2 - Kaynak suları dışındaki insanî tüketim amaçlı sular olmak üzere iki sınıftır.		
Tipler		
Sınıf 1 sular bir tiptir		
Sınıf 2 sular;		
Tip 1 - İşlem görmüş kaynak (memba) suları,		
Tip 2- İçme ve kullanma suları olmak üzere iki tiptir.		
Özellikler		
1- Organoleptik Özellikler		
2- Mikrobiyolojik Özellikler		
3- Kimyasal Özellikler		
4- Gösterge Özellikleri		
ORGANOLEPTİK ÖZELLİKLER		
Su; berrak, tortusuz, kendine has renkte ve kokusuz olmalıdır.		
MİKROBİYOLOJİK ÖZELLİKLER		
Özellik	Değer, en çok	
	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1	Sınıf 2 Tip 2
<i>Escherichia coli (E.coli)</i>	0/250 mL	0/100 mL
<i>Enterococci</i>	0/250 mL	0/100 mL
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0/250 mL	-
Koloni sayısı, 22°C'ta	100/mL	-
Koloni sayısı, 37°C'ta	20/mL	-

Çizelge 4.43. (devam)

KİMYASAL ÖZELLİKLER				
Özellik	Değer, en çok		Birim	Açıklama
	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1	Sınıf 2 Tip 2		
Antimon	5,0	5,0	µg/L	
Arsenik	10	10	µg/L	
Benzen	1,0	1,0	µg/L	
Bor	1,0	1,0	µg/L	
Bromat	10	10	µg/L	
Kadmiyum	5,0	5,0	µg/L	
Krom	50	50	µg/L	
Bakır	2000	2000	µg/L	
Siyanür	50	50	µg/L	
Florür	1,5	1,5	µg/L	
Kurşun	10	10	µg/L	
Civa	1,0	1,0	µg/L	
Nikel	20	20	µg/L	
Nitrat	50	50	µg/L	
Nitrit	0,50	0,50	µg/L	
Selenyum	10	10	µg/L	
Toplam pestisit	0,50	0,50	µg/L	Yukarıda belirtilen ve ayrı ayrı tespit edilebilen pestisitlerin derişimleri toplamını ifade etmektedir.
Polisiklik aromatik hidrokarbonlar	0,10	0,10	µg/L	Değer, benzo(b)floranten, benzo(k)floranten, benzo(ghi)perilen ve indeno(1,2,3-cd)piren bileşiklerinin derişimleri toplamını ifade etmektedir.
Pestisitler	0,10	0,10	µg/L	Pestisit ifadesi, organik insektisitler, organik herbisitler, organik fungusitler, organik nematositler, organik acarisitler, organik algisitler, organik rodentisitler, organik slimisitler ve ilgili ijrünler (bunlarla birlikte büyüme düzenleyicileri) ile bunların metabolitleri, parçalanma ve tepkime ürünlerini kapsamaktadır. Belirtilen değer, her bir pestisit için ayrı ayrı uygulanır. Suda aldrin, dieldrin, heptaklor ve heptaklor epoksit bulunması hâlinde bu değer 0,030 mg/L olarak uygulanmalıdır.

Çizelge 4.43. (devam)

GÖSTERGE ÖZELLİKLERİ				
Özellik	Değer, en çok		Birim	Açıklama
	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1	Sınıf 2 Tip 2		
Alüminyum, en çok	200	200	µg/L	
Amonyum, en çok	0,05	0,50	mg/L	
Demir, en çok	50	200	µg/L	
Mangan, en çok	20	50	µg/L	
Sülfat, en çok	25	250	mg/L	
Sodyum, en çok	100	200	mg/L	
Klorür, en çok	30	250	mg/L	
<i>Clostridium perfringens</i> (sporlular dahil)	0	0	sayı/100 ml	Suyun yüzeyden alınmaması veya yüzey suyundan etkilenmemesi halinde bu özellikler aranmaz..
Renk, en çok	1	20	mg/L Pt-Co skalası	Suyun kendine has renginden fark edilebilir bir sapma gözlenmemelidir.
pH	6,5<pH<9,5	6,5<pH<9,5	pH birimi	Ambalajlı sular için, üst sınır aynı kalmak kaydıyla, en düşük pH değeri 4,5 olarak uygulanmalıdır.
Koliform bakteri	0	0	sayı/100 ml	Ambalajlı sular için birim, sayı/250 mL olarak uygulanmalıdır.
Bulanıklık, en çok	5	5	NTU	Suyun, yüzey suyunun artırılması ile elde edilmesi durumunda, bulanıklık en çok 1,0 NTU (Nefelometrik Bulanıklık Birimi) olmalıdır.
İletkenlik, 20°C'ta en çok	650	2500	nS/cm	
Radyoaktiflik, en çok				
- Tritiyum	100	100	Bq/L	
- Toplam gösterge dozu	0,10	0,10	mSv/yıl	
- Alfa aktivitesi	0,1	0,1	Bq/L	
- Beta aktivitesi	1	1	Bq/L	
Koku	Suyun kendine has kokusunda fark edilebilir bir değişiklik gözlenmemelidir.			
Tat	Suyun kendine has tadında fark edilebilir bir değişiklik gözlenmemelidir.			
Koloni sayımı, 22°C'ta	Fark edilebilir bir değişiklik olmamalıdır.			
Toplam organik karbon (TOK)	Fark edilebilir bir değişiklik gözlenmemelidir.			

Çizelge 4.44. Dünya Sağlık Örgütü İçme suyu standartları (WHO)

Bileşen	Tavsiye edilen konsantrasyon sınırı ^a (mg/l)
İnorganik	
Toplam çözünmüş katı madde	500
Klorür (Cl)	250
Sülfat (SO ₄ ⁻²)	250
Nitrat (NO ₃ ⁻)	45 ^b
Demir (Fe)	0,3
Mangan (Mn)	0,05
Bakır (Cu)	1,0
Çinko (Zn)	5,0
Bor (B)	1,0
Hidrojen sülfür (H ₂ S)	0,05
	Maksimum izin verilebilir konsantrasyon ^c
Arsenik (As)	0,05
Baryum (Ba)	1,0
Kadmiyum (Cd)	0,01
Krom (Cr)	0,05
Selenyum (Se)	0,01
Antimon (Sb)	0,01
Kurşun (Pb)	0,05
Civa (Hg)	0,002
Gümüş (Ag)	0,05
Florür (F)	1,4-2,4 ^d
Organik	
Siyanür	0,05
Endirin	0,0002
Lindan	0,004
Metoksiklorür	0,1
Toksafen	0,005
2,4-D	,0,1
2,4,5-TP Silveks	0,01
Fenoller	0,001
Karbon kloroform ekstraktı	0,2
Sentetik deterjanlar	0,5
	Maksimum izin verilebilir aktivite (pCi/l)
Radyonükleidler ve radyoaktivite	5
Radyum 226	10
Stronsiyom 90	50000
Plütonyum	30
Gros beta aktivitesi	3
Gros alfa aktivitesi	
Bakteriyolojik	
Toplam koli bakterisi	100 ml'de 1 adet

* U.S. Environmental Protection Agency, 1975 ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) Avrupa Standartları, 1970.

^a Bu bileşenler için tavsiye edilen sınır değerleri başlıca görünüş ve tad karakteristikleri sağlamak içindir.

^b A.B.D. ve Kanada standartlarına göre NO₃⁻ sınırı 10mg/l olarak ifade edilmektedir.

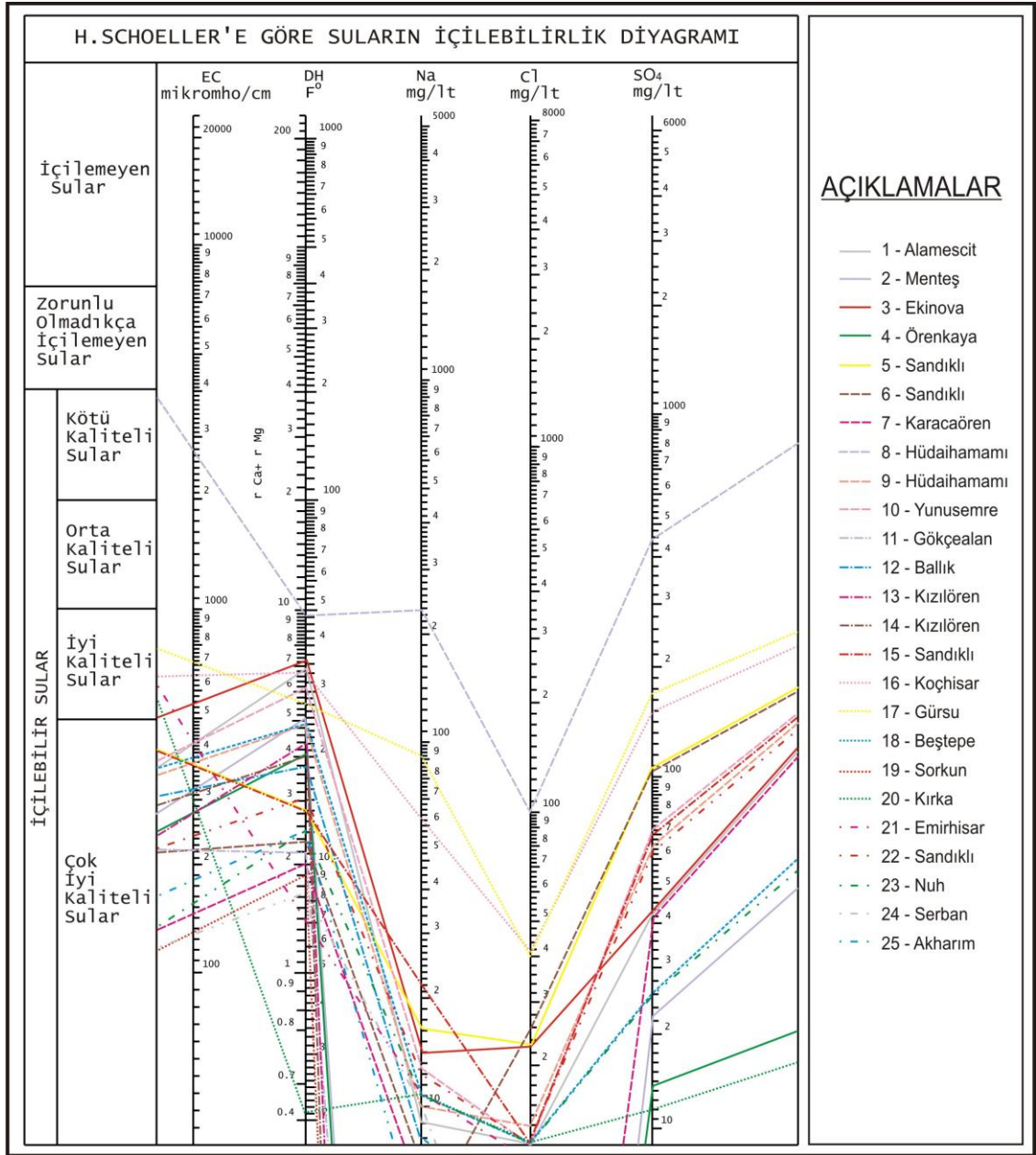
Avrupa standartlarında bu sınır için 11,3 mg/l; NO₃⁻ için 50mg/l'dir

^c Maksimum izin verilebilir sınırlar sağlık kriterlerine göre belirlenir.

^d Sınır değeri bölgenin havza sıcaklığına bağlıdır; suyun uzun süre tüketilmesi durumunda florür 5,10 mg/l'de zehirli olmaktadır.

Schoeller'e göre suların içilebilirlik özellikleri;

Çalışma alanında yeraltısularının içilebilme özelliklerinin tespit edilmesinde Schoeller diyagramı kullanılmıştır (Şekil 4.42.). Sandıklı havzasında soğuk sularının Schoeller diyagramına göre "çok iyi kaliteli sular" ve "iyi kaliteli sular" sınıfında olduğu görülmektedir. Hüdai mineralli sıcak su kaynağı ise elektriksel iletkenlik (EC) ve sertlik değerlerinin yüksek olması nedeniyle "orta kaliteli sular" sınıfında yer almaktadır (Çizelge 4.33.; Çizelge 4.39.).



Şekil 4.42. Schoeller İçilebilirlik Diyagramı (Nisan 2010)

Suların mikrobiyolojik özellikleri;

Suların içilebilme özelliklerini sınırlandıran önemli parametrelerden biri de suların mikrobiyolojik özellikleridir. Sularda hastalık yapan mikroorganizmaların varlığının belirlenmesi ve suyun insan tüketimi için mikrobiyolojik kalitesinin belirlenmesi gerekmektedir. Sularda hastalık yapıcı mikroorganizmaların belirlenmesi oldukça

güç olduğundan öncelikle bu organizmaların varlığını gösteren indikatör organizmaların (toplam koliform, fekal koliform ve *E. Coli (escherichia coli)* gibi) analizi yapılmaktadır.

Koliform bakteriler, gıda ve suların sıhhi durumunu gösteren göstergeç bakterilerdir. Tanım olarak çubuksu, gram-negatif olup 35-37 °C'de laktoz fermente ederek asit ve gaz üretirler. Koliformlar sıcak kanlı hayvanların dışkılarında bolca bulunurlar, ayrıca sulak ortamlarda, toprakta ve bitkilerde de bulunabilmektedirler. Çoğu zaman koliformlar kendileri hastalığa neden olmazlar ama kolay kültürlenirler ve varlıkları dışkı kaynaklı zararlı patojenlerin de mevcut olabileceğine işaret eder. Dışıya ait (fekal) patojenlere bakteriler, virüsler, protozoalar ve parazitler dahildir (EA, 2002).

Koliform bakterilerin doğal yaşam yerleri kalın bağırsaktır. Yani sularda da görebildiğimiz koliform bakterilerin aslında temel olarak yaşadıkları yer insan ve hayvanların kalın barsaklarıdır. İçtiğimiz su ile birlikte vücudumuza aldığımız koliform bakteriler bağırsaklara yerleşerek orada yaşamını sürdürmektedir. Suda koliform bakteri varlığı suya dışkı karışığının göstergesidir (Su Hijyeni, 2010).

Fekal koliform ise insan veya hayvan dışkısı ile oluşan bakterilerdir. Fekal koliformlar 44-46 °C arasında *E.coli* (EC) broth besiyerinde laktozu fermente ederek gaz oluşturabilen dışkı kökenli koliformdur. *Citrobacter*, *Klebsiella* ve *E.coli* yaygın olarak bilinen koliform bakterilerdir. Bunların en önemlisi ise *E.coli*' dir (Su Hijyeni, 2010).

Escherichia coli (E. coli) bakterisinin diğer koliformlardan ayırdedici özelliği 44 C'da laktoz fermantasyonu yapabilmesi, bazı özel kültür ortamlarında büyüebilmesi ve bu ortamlarda oluşturduğu renktir. Genel koliform grubundan farklı olarak *E. coli* hemen tamamen dışkı kaynaklıdır ve onun varlığı dışkı kirlenmesinin açık bir belirtisidir. *E.coli*, sığır eti, etli börek, patates salatası, mayonez, içme suyu (dışkıdan suya bulaşması) bununla beraber pastörize edilmemiş meyve suyunda, salamlarda, salatalarda bulunabilmekte ve insanlarda hastalıklara

hatta ölümlere neden olabilmektedir. Hastalık belirtileri ise; kanlı ishal, üşüme, ateş ve karın kasılmasıdır (EA, 2002).

Havzada yeraltı suları içme suyu kaynağı olarak doğrudan değerlendirilirken sulama suyu olarak kullanılan sular da zaman zaman içmesuyu olarak kullanılabilir. Nisan-2010 döneminde mikrobiyolojik analiz için 10 adet su örneği alınmış ve Isparta Tarım ve Köy İşleri İl Kontrol Laboratuvarı tarafından yapılmıştır. Analiz kapsamında sular da koliform, fekal koliform ve *E.coli* değerlerine bakılmıştır (Çizelge 4.45.) Ayrıca alınan örneklerde yerinde ölçümler de yapılmış ve Çizelge 4.45.'de sunulmuştur. Yapılan analiz sonuçlarına göre Sandıklı havzası genelinde herhangi bir mikrobiyolojik kirlenmeye rastlanılmamıştır. Sadece Kızılca bölgesindeki M-5 nolu örnekte koliform bakteriye rastlanılmıştır. Örneğin alındığı bu lokasyonda yeraltı su seviyesinin yüzeye çok yakın olması ve bu nedenle lokasyon civarında bulunan hayvan barınaklarının yeraltı suyunda mikrobiyolojik kirliliğe sebep olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.45. Mikrobiyolojik analiz sonuçları (Nisan 2010)

Numune No	Yapılan Analizler	AKS	Koliform	Fekal Koliform	E.coli
	Ölçüm Limiti	KOB/ml	EMS/100ml	EMS/100ml	EMS/100ml
	Analiz Metodu	Pr EN ISO 6222	ISO 9308-1	ISO 9308-1	ISO 9308-1
M-1	Çiğiltepe	1,2x10 ²	0	0	0
M-2	Ekinhisar	2,0x10 ¹	0	0	0
M-3	Sandıklı	2,9x10 ²	0	0	0
M-4	Emirhisar	4,5x10 ¹	0	0	0
M-5	Kızılca	4,5x10 ¹	180	0	0
M-6	Koçgazi	3,0x10 ¹	0	0	0
M-7	Karapınar	3,0x10 ¹	0	0	0
M-8	Kusura	1,0x10 ²	0	0	0
M-9	Alamescit	7,0x10 ²	0	0	0
M-10	Kızılören	2,0x10 ¹	0	0	0

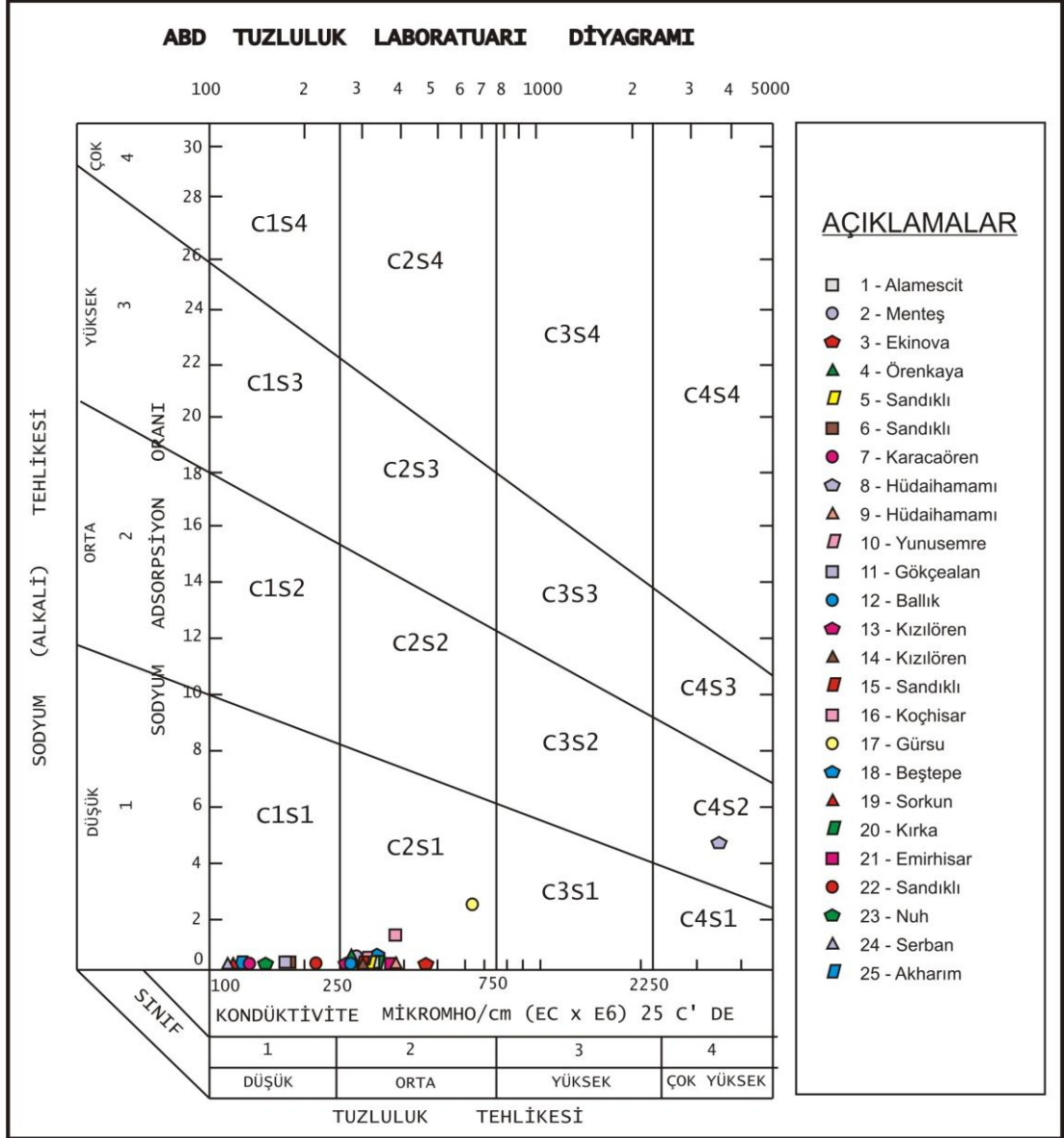
4.7.4.2.Suların sulamada kullanım özellikleri

İnceleme alanında yeraltı sularının sulama amaçlı kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox diyagramları kullanılmıştır.

ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı;

Bu diyagram suların SAR ve EC değerlerine göre sulamada kullanılabilirliğini değerlendirmektedir. Diyagrama göre sulama suyu için önemli olan tuzluluk ve sodyum değerlerine göre sınıflara ayrılmaktadır. C_1S_1, C_2S_1, C_3S_1 sınıfları her türlü sulamada; C_4S_1, C_3S_2 sınıfları bazı özel koşullarda kullanılabilirken C_4S_2, C_4S_3 sınıfları ise sulamada kullanılamaz şeklinde tanımlanmaktadır (Şahinci, 1991).

Çalışma alanından Nisan-2010 döneminde belirlenen SAR ve EC değerleri kullanılmıştır. Yeraltısularının C_1S_1, C_2S_1 ve C_4S_2 sınıflarında yer aldığı gözlenmektedir (Şekil 4.43.). Diyagramda EC değerleri düşük olan 6, 7, 11, 19, 22, 23, 24 ve 25 nolu lokasyonlara ait örneklerin C_1S_1 sınıfında; 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 ve 20 nolu lokasyonlara ait örneklerin C_2S_1 sınıfında sulamaya uygun özellikteki suları temsil ettiği görülmektedir. Hüdai mineralli sıcak su kaynağı ise C_4S_1 sınıfında yer almaktadır ve sulama amaçlı kullanım için Na ve EC değerlerinin yüksek olması nedeniyle uygun değildir (Çizelge 4.33.; Çizelge 4.39.).



Şekil 4.43. ABD tuzluluk laboratuari diyagramına göre suların sınıflandırılması
(Nisan 2010)

Wilcox diyagramı;

Yeraltularının sulamada kullanılabilme özelliğini belirlemede kullanılan diğer önemli diyagramdır. Bu diyagramda % Na ve EC miktarına göre değerlendirme yapılmaktadır (Çizelge 4.46.). Nisan-2010 dönemi su örnekleri Wilcox diyagramına göre "çok-iyi kullanılabilir" sular sınıfında yer almaktadır. Sadece Hüdai mineralli sıcak su kaynağı "şüpheli kullanılmaz ve sulamaya uygun değil" sınıfındadır (Şekil 4.44.).

Çizelge 4.46. Wilcox diyagramı su sınıflama kriterleri (Şahinci, 1991)

Suyu Sınıfı	%Na	rCl	rSO₄	EC
Çok iyi	<20	<4	<4	<250
İyi	20-40	4-7	4-7	250-750
Kullanılabilir	40-60	7-12	7-12	750-2000
Şüpheli	60-80	12-20	12-20	2000-3000
Kullanılmaz	<u>≥80</u>	<u>≥20</u>	<u>≥20</u>	>3000
r=mek/l, EC=Elektriksel iletkenlik mikromho/cm (ECx10 ⁶ 25°C'de)				

4.7.5.Suların izotop jeokimyasal incelemesi

Günümüzde suların kökeni ve yüzeyle çıkış mekanizması ile ilgili ayrıntılı bilgi edinmek amacıyla izotop tekniklerinin kullanımı oldukça yaygın bir hale gelmiştir. Bir elementin atom numarası aynı, kütle numarası farklı atomlarına izotop denir. İzotoplar, kararlı ve radyoaktif olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kararlı izotoplar kararlı bir çekirdek yapısına sahiptirler, kapalı bir sistemde kararlı izotopların atomik konsantrasyonlarında hiçbir değişiklik olmaz. Radyoaktif izotopların çekirdekleri ise kararsız bir yapıya sahiptir ve zamanla parçalanarak başka elementlerin izotoplarına dönüşürler. Hidrolojide kullanılan başlıca izotoplar suyun yapısında bulunan oksijen ve hidrojenin izotoplarıdır. Ayrıca azot, klorür, kükürt, asal gazlar, uranyum ve toryum vb. elementlerin izotopları da yüzey ve yeraltısuyu sistemlerinde kirleticinin kökenlerinin belirlenmesi, hareketinin saptanması vb. çalışmalarda etkin olarak kullanılmaktadır. Doğada hidrojen elementinin kütle numarası 1 olan ^1H -hidrojen izotopu % 99,985 ile en fazla, kütle numarası 2 olan ağır izotopu ^2H -döteryum ise % 0,05 ile daha az bulunmaktadır. Oksijen elementinin üç adet kararlı izotopu (^{16}O , ^{17}O , ^{18}O) mevcuttur. Oksijen izotopların doğada bulunuş oranları ise sırasıyla; ^{16}O -% 99,759, ^{17}O -% 0,037, ^{18}O -% 0,204'dür (Çizelge 4.47; Çifter, 2002).

Çizelge 4.47. İzotop hidrolojisinde kullanılan bazı elementlerin kararlı izotopları

Element	Doğada Bulunma Oranı	Sembol
Hidrojen	99.985	^1H
	0.05	^2H
Oksijen	99.75	^{16}O
	0.037	^{17}O
	0.204	^{18}O

İzotop hidrolojisi çalışmalarda kullanılan radyoaktif izotopların başında hidrojen elementinin kütle numarası 3 olan trityum (^3H) izotopu gelmektedir. Yarı ömrü 12,32 yıl (4500 ± 8 gün) olan ve beta bozunması veren ^3H , atmosferin üst tabakalarındaki azot atomlarıyla kozmik nötronların etkileşmesinden doğal olarak oluştuğu gibi, termonükleer denemeler sonucunda da oluşmaktadır. ^3H atomları doğada 1.10^{-15} oranında bulunur. Su içerisindeki ^3H konsantrasyonu trityum birimi (TU) olarak verilmektedir. Yani 10^{18} hidrojen atomuna karşı bir ^3H atomunun bulunması '1 Trityum Birimi (TU)' olarak tanımlanır. Radyoaktif olmasından dolayı uğradığı

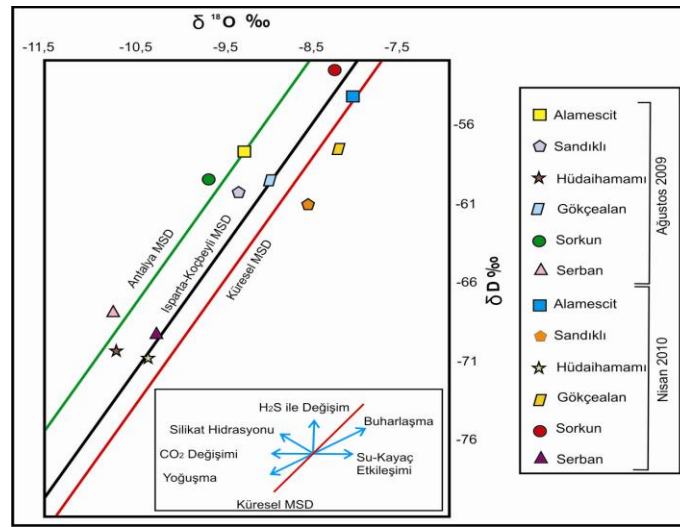
zamansal değişim nedeniyle yeraltısularının bağıl yaşıнын (eskilik derecesi) belirlenmesi çalışmalarında, yeraltısularının rezervuarda yenilenme sürelerinin tahmininde kullanılmaktadır. Yenilenme süresinin tahmini yeraltısuyu hareket hızının belirlenmesinde rol oynamaktadır. ^3H analizlerinde yaygın olarak kullanılan sistem sıvı sintilasyon sistemidir (Çifter, 2002). Yeraltısuyu sistemlerinde kullanılan başlıca izotoplar ^{18}O , ^2H ve ^3H izotoplarıdır. Bunlardan ^{18}O ve ^2H gibi duraylı izotoplar hidrolojik koşullar ve akışkanı etkileyen süreçlerin değerlendirilmesinde belirgin bir rol oynamaktadır. Öte yandan, ^3H gibi radyoaktif izotoplar, yaş tayini ve jeotermal rezervuarlara güncel soğuksu karışımının belirlenmesi gibi özel problemlerde yaygın olarak uygulanmaktadır (Akan, 2002; Çizelge 4.48.)

Çizelge 4.48. Suyun izotopları ve bazı özellikleri (Şahinci, 1991)

İzotop	Adı	Sudaki Oranı (%)	Yarı Ömrü	Diğer Özellikler
^2H (δD)	Döteryum	0,016	Duraylı	-
^3H (δT)	Tritiyum	İz	12,4 yıl (12.262-12.6)	Radyoaktif
$\delta^{18}\text{O}$	Oksijen 18	0,20	Duraylı	-

İnceleme alanında, akiferlerin farklı noktalarından alınan örneklerde çevresel izotop içeriklerinin (^{18}O , ^2H , ^3H) belirlenebilmesi Ankara Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Daire Başkanlığı İzotop Laboratuvarı ve Şube Müdürlüğü tarafından yapılmıştır. Laboratuvarında, ^{18}O , ^2H ve ^3H izotoplarının ölçümleri için IAEA metodu uygulanmıştır. Sandıklı havzasının farklı lokasyonlarından Ağustos-2009 ve Nisan-2010 dönemlerinde toplanan su örneklerinin ^{18}O , ^2H ve ^3H izotop analiz sonuçlarının $\delta^{18}\text{O}$ - δD diyagramları çizilmiştir; köken değerlendirmesinde küresel meteorik ($\delta\text{D} = 8x\delta^{18}\text{O}+10$) (Craig 1961), Koçbeyli (Isparta) meteorik su ($\delta\text{D} = 8x\delta^{18}\text{O}+12,16$) (Sayın ve Eyüpoğlu, 2005) ve Antalya meteorik su ($\delta\text{D} = 8x\delta^{18}\text{O}+16,37$) (Sayın ve Eyüpoğlu, 2005) doğruları kullanılmıştır (Çizelge 4.49.; Çizelge 4.50.; Şekil 4.45.). Sulardaki $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri sırasıyla Ağustos-2009 dönemi için, -9,00 -0,77 ve -57,85 ile -70,49 arasında; Nisan-2010 dönemi için ise 8,08 ile -10,36 ve -52,44 ile -70,48 arasında değişmiştir. Tüm örneklerin $\delta^{18}\text{O}$ - δD diyagramları üzerindeki konumları meteorik kökene işaret etmektedir (Şekil 4.45.). Ancak, Hüdayi mineralli suların sıcaklığı, kaya-su etkileşimi ve derin dolaşıma bağlı olarak izotop içerikleri havzadaki diğer soğuk su örneklerine göre farklıdır. Daha yüksek kotlardaki

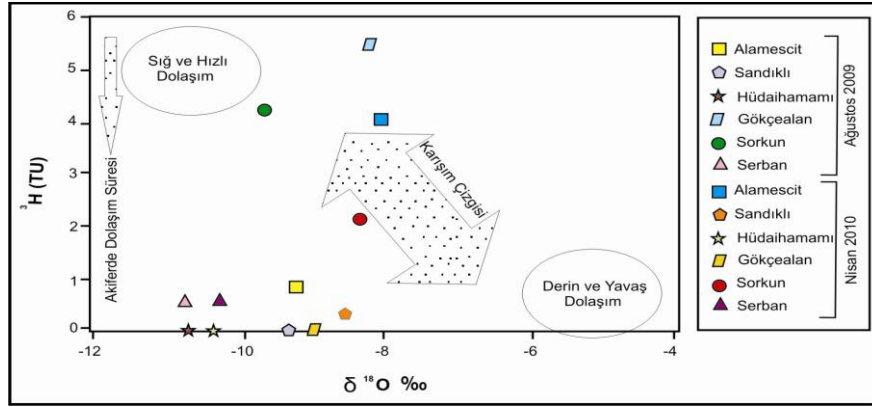
yağışların beslediği derin akifer suları, daha düşük kotlardan yerel yağışlarla beslenen sığ akifer sularından daha negatif ağır izotop içeriğine sahiptir. Bu açıdan, derin dolaşımli Hüdai mineralli sularının izotop içeriği yüksek kotlara düşen yağışları alması nedeniyle daha negatif değerlerdedir. Ayrıca, havzanın kuzey ucunda yüksek kotlarda bulunan Serban civarından alınan örneklerin izotop içerikleri de yüksek kotlardan beslenimi yansıtabak biçimde havzadaki diğer soğuk sulara göre daha fakirdir. Havzada yeraltısularının duraylı izotop değerleri mevsimsel olarak da az oranda değişim sunmaktadır. Bu durum, sıcaklığın etkisine bağlı olarak gerçekleşmektedir. İncelenen tüm sular kurak dönemde yüksek, yağışlı dönemde ise düşük kotlardan beslenmiştir. Sıcaklığın yüksek olduğu zamanlarda yağmur damlalarının yeryüzüne düşerken hafif izotoplar buharlaşıp ağır izotop zenginleşmesi gerçekleşmektedir (Sayın ve Eyüpoğlu, 2005). Bu nedenle, Ağustos-2009 döneminde suların izotop içeriklerinde Nisan-2010 dönemine göre zenginleşme belirlenmiştir (Şekil 4.45.). Bu bağlamda, meteorik su doğrularından sapma dikkate alındığında, Alamescit, Sorkun ve Serban sularında genelde buharlaşma, Gökçealan'da yoğunlaşma-buharlaşma, Sandıklı ve Hüdaihamami'nda ise, su-kayaç etkileşimi ile buharlaşmanın etkilerinden söz edilebilir.



Şekil 4.45. İnceleme alanındaki suların $\delta^{18}\text{O}$ - δD diyagramı (Ağustos+Nisan).

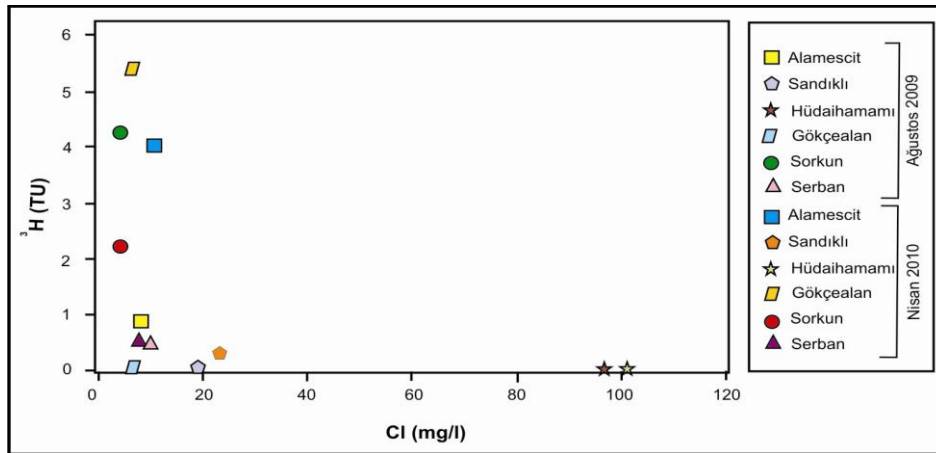
Ayrıca, inceleme alanındaki suların $\delta^{18}\text{O}$ - ^3H grafiğinde Ağustos-2009'a ait Sorkun ve Gökçealan suları, Nisan-2010'a ait Alamescit suyu sığ ve hızlı dolaşımı, diğer

sular derin ve yavaş dolaşımı; Nisan-2010'a ait Sorkun ise karışım sularını temsil etmektedir (Şekil 4.46.a.).



Şekil 4.46.a. İnceleme alanındaki suların δ¹⁸O-³H diyagramı (Ağustos+Nisan).

Ayrıca, δ¹⁸O-³H ile Cl-³H grafiklerinde trityum değerleri Ağustos-2009'da 0,00-4,20 TU, Nisan-2010'da ise 0,00-5,40 TU arasında değişmektedir (Çizelge 4.49.; Çizelge 4.50.; Şekil 4.46.; Şekil 4.47.). Suyun akifer içerisinde kalış süresi arttıkça trityum değeri azalır. Cl değerleri sığ dolaşımli sulara düşük, uzun dolaşımli sulara ise genelde yüksektir. Hüdaihamamı sıcak ve mineralli sularının düşük trityum ve yüksek klorür değeri bunların derin akiferde uzun dolaşımli yeraltısuları olduklarının göstergesidir. (Şekil 4.46.b.). Clark ve Fritz (1997)'e göre, Ağustos 2009'da Sandıklı, Hüdaihamamı, Gökçealan ve Serban <0,8 TU'nun altında oldukları için 1952 yılından önce beslenen sular; Sorkun karışım suları; yağışlı dönemde Gökçealan ise modern (<5 ile 10 yıllık) sular olarak değerlendirilebilir.



Şekil 4.46.b. İnceleme alanındaki suların Cl-³H diyagramı (Ağustos+Nisan).

Çizelge 4.49. Çalışma alanındaki örneklere ait izotop sonuçları (Ağustos 2009)

Numune No	Alındığı Mevkii	Alındığı Tarih	Tip	Oksijen 18 (δ O)	Döteryum (δ H)	Tritiyum (δ H) TU	Tritiyum (δ H) (Bq/L)
1	Alamescit	05/08/2009	Yeraltısuyu	-9,25	-57,85	0,90	0,11
5	Sandıklı	05/08/2009	Yeraltısuyu	-9,34	-60,35	0,00	0,00
8	Hüdaihamamı	05/08/2009	Sıcak su	-10,69	-70,49	0,00	0,00
11	Gökçealan	05/08/2009	Yeraltısuyu	-9,00	-59,55	0,00	0,00
19	Sorkun	06/08/2009	Yeraltısuyu	-9,67	-59,52	4,20	0,50
24	Serban	06/08/2009	Yeraltısuyu	-10,77	-68,06	0,45	0,05

Çizelge 4.50. Çalışma alanındaki örneklere ait izotop sonuçları (Nisan 2010)

Numune No	Alındığı Mevkii	Alındığı Tarih	Tip	Oksijen 18 (δ O)	Döteryum (δ H)	Tritiyum (δ H) TU	Tritiyum (Bq/L)
1	Alamescit	29/04/2010	Yeraltısuyu	-8,08	-54,25	4,00	0,47
5	Sandıklı	29/04/2010	Yeraltısuyu	-8,58	-61,08	0,30	0,04
8	Hüdaihamamı	29/04/2010	Sıcak su	-10,36	-70,83	0,00	0,00
11	Gökçealan	29/04/2010	Yeraltısuyu	-8,24	-57,62	5,40	0,64
19	Sorkun	29/04/2010	Yeraltısuyu	-8,25	-52,44	2,20	0,26
24	Serban	29/04/2010	Yeraltısuyu	-10,27	-69,53	0,50	0,05

Tritiyum Birimi (Tritium Unit, TU) = 1TU=0,1183 (Bq/L), TS 266 (2005)'e göre Tritiyum sınır değeri : 100 Bq/L

4.7.5.1. Sulardaki radyoaktivite

Yeraltındaki çeşitli özellikteki jeolojik formasyonların içinde değişik oranlarda radyoaktif maddeler bulunmaktadır. Bu maddeler, magmatik oluşumlarda en fazladır. Ayrıca kil ve şeyl gibi tortul kütlelerde de radyoaktif maddelere rastlanmaktadır. Kum, çakıl, kumtaşı, çatlaklı kalker gibi akifer özelliğindeki tortul kütlelerde ise çok az miktarda radyoaktif madde bulunmaktadır. Yer kabuğu içindeki doğal radyoaktif maddelerin bulunduğu ortamlardan geçen veya bulunan sular radyoaktivite içermektedir. Yeraltısularında sık rastlanılan belli başlı radyoaktif maddeler Potasyum-40 (^{40}K), Toryum-235 (^{235}Th), Uranyum-238 (^{238}U) dir. Ayrıca, Uranyum-238'in bozunması sonucu ortaya çıkan Radon-222 (^{222}Rn), Radyum-226 (^{226}Ra) yeraltısularında bulunabilmektedir (Dilaver vd., 2002).

Akiferlerin farklı noktalarından alınan örneklerde alfa (α) ve toplam beta (β) radyoaktif madde konsantrasyonlarının belirlenebilmesi DSİ Ankara Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Daire Başkanlığı İzotop Laboratuvarı ve Şube Müdürlüğü tarafından yapılmıştır. Laboratuvarda sulardaki toplam α ve β aktivitesi tayini için EPA metodu, uygulaması kullanılmıştır (Çizelge 4.51.).

Havzadaki içme ve kullanma sularından Ağustos-2009 dönemine ait alınan su örneklerinden elde edilen sonuçlara göre sularda bulunan radyoaktif maddelerden toplam alfa radyoaktivitesi konsantrasyonu 0,057-2,806 Bq/L arasında ve toplam beta radyoaktivitesi konsantrasyonu 0,08-2,25 Bq/L arasında tespit edilmiştir. Bu değerlerin üst sınırı Türk Standartları Enstitüsü (TS-266)'ya göre alfa aktivitesinde 0,1 Bq/L, beta radyoaktivitesinde 1 Bq/L olarak verilmektedir. Hüdai mineralli sıcak su kaynağının alfa-beta radyoaktivite değerleri havzadaki soğuk yeraltısularına göre daha yüksek (2,806-2,25 Bq/L) değerlerdedir (Çizelge 4.51.).

Çizelge 4.51. Çalışma alanındaki örneklere ait alfa ve beta sonuçları

Numune No	Alındığı Mevkii	Tip	Ağustos-2009		Nisan-2010	
			Alfa (Bq/L)	Beta (Bq/L)	Alfa (Bq/L)	Beta (Bq/L)
1	Alamescit	Yeraltısuyu	0,090	0,11	0,079	0,07
5	Sandıklı	Yeraltısuyu	0,162	0,19	0,159	0,33
8	Hüdaihamamı	Sıcak su	2,806	2,25	1,229	1,33
11	Gökçealan	Yeraltısuyu	0,086	0,28	0,032	0,13
19	Sorkun	Yeraltısuyu	0,090	0,08	0,031	0,10
24	Serban	Yeraltısuyu	0,057	0,14	0,029	0,13
TS 266 (2005)'ya göre Sınır Değer (Bq/L)			0,1	1	0,1	1
WHO'ya göre Sınır Değer (pCi/L)			3	3	3	3

$$*1 \text{ pCi/L} = 0,037\text{Bq/L} \quad 3 \text{ pCi/L} = 0,111\text{Bq/L} \quad 30 \text{ pCi/L} = 1,111 \text{ Bq/L}$$

4.7.6. Çalışma alanında yeraltısuyu kirliliği

Ülkemizde su kirliliğine etki eden unsurlar; sanayileşme, kentleşme, nüfus artışı, zirai mücadele ilaçları ve kimyasal gübreler olarak gruplandırılabilir (Çevreonline, 2009).

Sandıklı havzasında yeraltısuyu kirliliği ise;

- yerleşim alanı kaynaklı kirlilik faktörleri, evsel sıvı ve katı atıklar,
- endüstriyel kirlilik faktörleri,
- tarımsal faaliyetlerinin oluşturduğu kirlilik faktörleri olmak üzere 3 başlık altında toplanmaktadır.

4.7.6.1. Yerleşim alanı kaynaklı kirlilik faktörleri

Sıvı atıklar;

Sandıklı havzası içerisinde 57 adet yerleşim merkezi yer almaktadır. Bu yerleşim merkezlerinden köylerde düzenli kanalizasyon sistemi mevcut değildir. Sadece, Sandıklı merkezinde düzenli kanalizasyon sistemi bulunmaktadır. Ancak, sıvı atık için arıtma tesisi bulunmamaktadır.

Katı atıklar;

Çalışma alanı içinde yer alan yerleşim merkezlerinin düzenli bir çöp depolama alanı bulunmamaktadır. Tüm ilçe ve köylerde evsel nitelikli katı atıklar belediyeler tarafından kamyonlarla transfer usulü ile toplanmaktadır. Bu atıklar Sandıklı yerleşim merkezi doğusunda bulunan Pazaryeri mevkiinde düzensiz olarak depolanmaktadır. Sandıklı ilçesinde katı atık toplama, bertaraf ve geri dönüşüm istasyonu kurulması ve mevcut vahşi depolama alanının ıslah çalışmaları Sandıklı belediyesi ile Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından 2010 yılında başlatılmıştır.

Endüstriyel kirlilik faktörleri;

Günümüzde, sanayinin çevre üzerindeki olumsuz rolü belki diğer tüm faktörlerden çok daha fazladır. Ülkemizde özellikle sanayi kuruluşlarının sıvı atıkları ile su kirliliğine ve dolaylı olarak yine su kirliliğine bağlı, toprak ve bitki örtüsü üzerinde aşırı kirlenmelere neden olduğu ve hızlı bir şekilde çevrenin tahribine yol açtığı bilinmektedir (Çevreonline, 2009).

İnceleme alanının da ekonomik açıdan gelir getiren birçok sektör bulunmaktadır. Bu sektörler resmi ve özel sanayi işletmeleridir. Bu işletmeler arasında en çok maliyete sahip sektörler metal eşya makine ve techizat imalatıdır (Çizelge 4.52.). Çalışma alanında genel olarak gıda sektörüne yönelik işletmeler bulunmaktadır (Çizelge 4.53.). Bu işletmelerin atıkları sandıklı ilçesi kanalizasyon sistemine verilmektedir. Ayrıca, mermer atıkları, mezbaha atıkları, besihane ve kümes atıklarının kontrolü ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Mermer atıkları için belirlenen 3 ayrı mekanda depolama alanı belirlenmiştir. Özellikle mermer çamurları kurutulduktan sonra çimento sanayiinde % 30 oranında kullanılmaktadır. Besihane ve kümes atıklarının biogaz ve enerji üretimi için kullanılması yolunda çalışmalar yürütülmektedir (AİÇDR, 2008).

Çizelge 4.52. Bölgedeki resmi ve özel sanayi işletmelerinin ilçelere göre sektörel dağılımı (AİÇDR, 2008)

İLÇE	KIZILÖREN	SANDIKLI	SİNANPAŞA
MADENCİLİK VE TAŞ OCAKCILIĞI	1	17	1
GIDA İÇKİ VE TÛTÛN	0	14	40
TEKSTİL GİYİM VE DERİ	2	11	2
ORMAN ÜRÜNLERİ	1	15	2
KAĞIT VE KAĞIT ÜRÜNLERİ	0	0	1
KİMYA	0	2	0
TAŞ VE TOPRAĞA DAYALI	0	0	2
METAL EŞYA MAKİNA VE TECHİZAT İMALAT	0	39	1
DiĞER İMALAT	2	27	7
TOPLAM	7	125	56

Tarımsal faaliyetlerinin oluşturduğu kirlilik faktörleri;

Sulama, kurak ve yarı kurak bölgelerde yüksek tarımsal verim ve kalite açısından oldukça büyük öneme sahiptir. Ancak, yanlış sulama uygulamaları sonucunda ciddi boyutlara ulaşabilen çevresel sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra tarımsal üretimde bilinçsiz ve aşırı miktarda kullanılan kimyasal gübre ve ilaçlar da çevre üzerinde oldukça olumsuz etkiler yaratmaktadır. Tabansuyu yükselmesi, tuzluluk, gübre ve zirai kimyasal ilaç kalıntılarının sulama suyuyla derine inmesi, sulamadan dönen suların tuz konsantrasyonlarını artırarak yeraltı ve yerüstü sularına karışması, iz elementlerin su kaynaklarında birikmesi, toprak erozyonu ve bu sulardan yararlanan canlılar (bitki, hayvan ve insan) üzerinde hastalık ve zararların oluşması, yanlış sulama uygulamalarından kaynaklanan temel çevre sorunlarıdır (Çevreonline, 2009).

Sandıklı havzasında yaşayan halkın büyük bir çoğunluğunun geçim kaynağı tarımdır. Bu faaliyetler yayılı kirlilik unsurları olduğu için havzada su potansiyeli ve kalitesini olumsuz olarak etkilemektedir. Bu nedenle çalışma alanında tarımsal faaliyetlere dayalı kirlilik unsurlarının tespiti için ayrıntılı araştırmalar yapılmıştır.

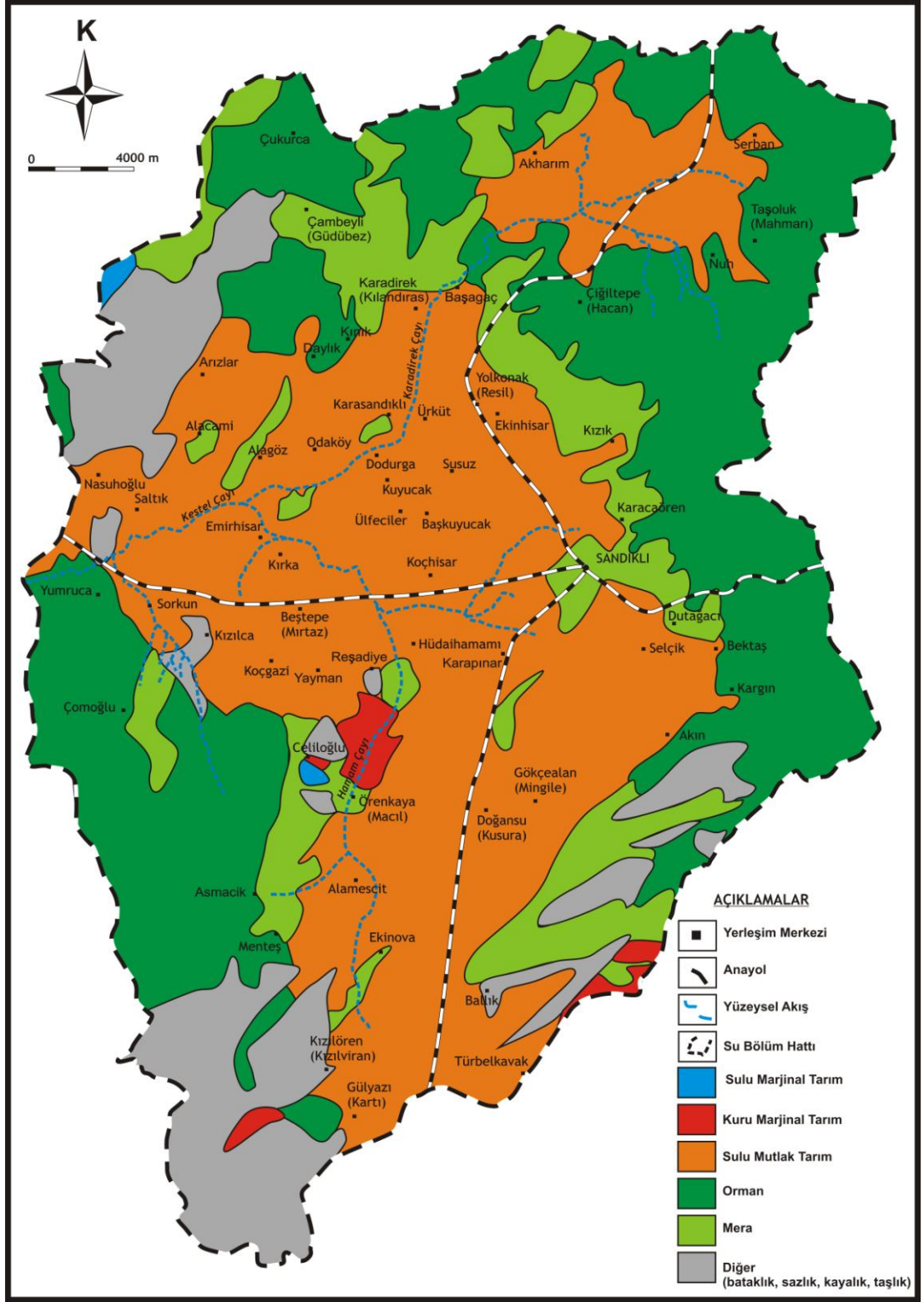
Çizelge 4.53. Bölgedeki özel sanayi işletmelerinin fiili üretim dağılımı
(AİÇDR, 2008)

Sanayi Kuruluşları	Yeri	Üretim Konusu	Fiili Üretim	İşçi Sayısı
Gıda Sanayi	Afyon Sincanlı Sandıklı Bolvadin Çay Şuhut Hocalar İhsaniye	Un	157.500 Ton	901
		İrmik	55.000 Ton	
		Kepek	82.500 Ton	
Yağ Fabrikaları (9 Adet)	Afyon Şuhut Sincanlı	Ham Yağ	33.520 Ton	336
		Rafine	39.184 Ton	
		Yağ Küşpe	35.063 Ton	
Kaynak Suyu Maden Suyu Meşrubat Sanayi (5 Adet)	İhsaniye Sincanlı Sandıklı	Şişelenmiş Kaynak Suyu	41.520.988 lt.	157
		Maden Suyu	6.584.508 lt	
		Muhtelif Meşrubat	15.228.000 lt.	
Tınaztepe Bulgur A.Ş.	Sincanlı	Bulgur	10.368 Ton	24
Çelik Gıda Fermantasyon San. İç Ve Dış Tic.Ltd.Şti.	Sandıklı	Turşu	604 Ton	7
Sanpa Gıda San.Tic.A.Ş.	Sandıklı	Dondurulmuş Patates	6.480 Ton	36
Tınaztepe Makarna Taş.San.Tic.Ltd.Şti.	Sincanlı	Makarna	4.590 Ton	14
Kereste Fabrikaları (5 Adet)	Bolvadin Sincanlı Sandıklı	Kereste Ahşap Doğrama	19376 M3	39
End.Vetic.San. A. Ş.	Kızılören	Müh.Döşeme Tavan Tahtası	2.905 M2	42
		Profil ve okul sırası	13192 Adet	
		Yemek Ve Yatak Odası	1314 Takım	
Mermer Ve İnşaat Makinaları İmalatı (4 Adet)	Afyon İşcehisar	Müh.Mermer Ve İnşaat Makinaları	923 Adet	96
Teneke Kutu Ve Metal Ofset Baskı (2 Adet)	Afyon Sandıklı	Renkli Ofset Baskılı teneke Kutu	2.648.715 Adet	35
Diğerleri 1- Kesici Metal San. Tic. Ltd. Şti.	Sandıklı	Direk	85 Adet,	10
		Çelik Çatı	5 Adet	
Diğer Muhtelif İmalat Sanayi	Afyon Sandıklı Sincanlı Şuhut	Karma Yem Balık Yemi	201.681 Ton	316
		Kanatlı Hayvan Yemi	2.346 Ton	
		Soya Unu	28.381 Ton	
		Yem Katkı Maddesi	6.480 Ton	
		Yem Konsantresi	4.312 Ton	
		Kemik Et Unu	452 Ton	
Organik Gübre	250 Ton			
Karoser Sanayi (2 Adet)	Sandıklı	Damperli Ahşap Sac Karoser.Dorse.Tr Ayler	285 Adet	76
Özen Cam İşleme San.Tic A.Ş.	Sandıklı	Çift Cam (Isıcam)	48.000m2	20

4.7.6.2. Çalışma alanında kirlilik faktörlerinin araştırılması

Sandıklı havzasında halkın geçim kaynağı tarımdır. Bölgede özellikle patates, şeker pancarı, mısır, arpa ve buğday gibi aşırı sulama isteyen ürünler yetiştirilmektedir. Buna bağlı olarak çalışma alanının %90'ında sulu tarım faaliyetleri yoğun olarak yürütülmektedir (Şekil 4.47.). Ürünlerin yetiştirilmesinde kullanılan zirai ilaçlar, doğal ve suni (özellikle azotlu) gübreler yeraltısuyunu kirleten unsurların başında gelmektedir. Tarımsal faaliyetler sonucu yeraltısularında gözlenen önemli kirlilik unsurları azot türevleri ve pestisitlerdir. Bu çalışmada azotlu bileşiklerin (NH_3 , NO_3 ve NO_2) tespiti ve pestisit etkisinin belirlenmesi için Ağustos-2009 ve Nisan-2010 dönemlerinde analizler yapılmıştır (Çizelge 4.54; Çizelge 4.55.) ve NH_3 , NO_2 ve NO_3 dağılımları harita üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.48.; Şekil 4.49.; Şekil 4.52.; Şekil 4.53.; Şekil 4.54.).

Ayrıca, havzada endüstriyel, kentsel ve tarımsal faaliyetlerin getirdiği dış kökenli (antropojenik) kirliliklerin tespiti için de yeraltısularının ağır metal içerikleri analiz edilmiştir. Ağır metal konsantrasyonları olarak Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se ve Zn konsantrasyon sonuçları değerlendirilmiş ve sonuçları yorumlanarak dağılımları haritalar üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.55.; Şekil 4.57.; Şekil 4.58.; Şekil 4.59.; Şekil 4.60.; Şekil 4.61.; Şekil 4.62.; Şekil 4.63.; Şekil 4.64.; Şekil 4.65.; Şekil 4.66.; Şekil 4.67.; Şekil 4.68.; Şekil 4.69.).



Şekil 4.47. Sandıklı havzasına ait tarım alanları dağılım haritası

Azot türevleri

Azot doğada oldukça bol oranda bulunmaktadır. Nitrat (NO_3^-), Nitrit (NO_2^-), Amonyak (NH_3^-) ve Amonyum iyonu (NH_4^+) azot bileşik ve türevlerindedir. Azot bileşikleri suda kolay çözünmektedir.

Çalışma alanında azot türevlerine bağlı oluşabilecek kirliliğin tespiti için Ağustos-2009 ve Nisan-2010 dönemlerinde 20 adet örnek alınmış ve Nitrat (NO_3^-), Nitrit (NO_2^-) ve Amonyak (NH_3^-) analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 4.54 ve Çizelge 4.55.'de verilmiştir.

Çizelge 4.54. Ağustos 2009 azot bileşiklerine ait analiz sonuçları

No	Yer Adı	Numune Tipi	NH_3 mg/l	NO_2 mg/l	NO_3 mg/l
1	Alamescit	Sondaj kuyusu	0,00	0,00	9,40
2	Menteş	Sondaj kuyusu	0,00	0,00	0,15
3	Ekinova	Sondaj kuyusu	0,00	0,00	88,20
4	Örenkaya	Kaynak	0,046	0,00	38,40
5	Sandıklı	Sondaj kuyusu	0,00	0,00	30,45
6	Sandıklı	Kaynak	0,00	0,00	28,85
7	Karacaören	Kaynak	0,00	0,00	1,10
8	Hüdaihamamı	Kaynak	0,079	1,557	2,75
9	Hüdaihamamı	Sondaj kuyusu	0,00	0,00	16,30
10	Yunusemre	Sondaj kuyusu	0,00	0,00	33,70
11	Gökçealan	Sondaj kuyusu	0,00	0,00	16,85
12	Ballık	Sondaj kuyusu	0,00	0,00	11,25
13	Kızılören	Sondaj kuyusu	0,30	0,00	13,50
14	Kızılören	Sondaj kuyusu	0,083	0,00	10,55
15	Sandıklı	Sondaj kuyusu	0,00	0,03	10,55
16	Koçhisar	Sondaj kuyusu	0,056	1,462	19,20
17	Gürsu	Sondaj kuyusu	0,00	0,00	25,70
18	Beştepe	Sondaj kuyusu	0,049	0,00	19,85
19	Sorkun	Sondaj kuyusu	0,011	0,007	0,30
20	Kırka	Sondaj kuyusu	0,00	0,02	19,65
21	Emirhisar	Kaynak	0,00	0,00	82,80
22	Sandıklı	Sondaj kuyusu	0,00	0,00	16,70
23	Nuh	Kaynak	0,488	0,00	34,40
24	Serban	Kaynak	0,074	0,00	9,85
25	Akharım	Kaynak	0,05	0,00	0,55
TS 266-WHO Sınır Değerler			0,05-0,50	0,05	45-50

Çizelge 4.55. Nisan 2010 azot bileşiklerine ait analiz sonuçları

No	Yer Adı	Numune Tipi	NH ₃ mg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l
1	Alamescit	Sondaj kuyusu	0,00	0,01	3,55
2	Menteş	Sondaj kuyusu	0,00	0,04	0,00
3	Ekinova	Sondaj kuyusu	0,01	0,04	66,90
4	Örenkaya	Kaynak	0,00	0,03	33,85
5	Sandıklı	Sondaj kuyusu	0,01	0,03	33,76
6	Sandıklı	Kaynak	0,00	0,03	27,52
7	Karacaören	Kaynak	0,00	0,03	0,67
8	Hüdaıhamamı	Kaynak	0,00	1,37	0,00
9	Hüdaıhamamı	Sondaj kuyusu	0,00	0,03	26,90
10	Yunusemre	Sondaj kuyusu	0,00	0,01	31,52
11	Gökçealan	Sondaj kuyusu	0,00	0,07	20,79
12	Ballık	Sondaj kuyusu	0,00	0,00	20,74
13	Kızılören	Sondaj kuyusu	0,00	0,00	13,92
14	Kızılören	Sondaj kuyusu	0,00	0,01	10,78
15	Sandıklı	Sondaj kuyusu	0,00	0,01	10,33
16	Koçhisar	Sondaj kuyusu	0,00	0,01	46,97
17	Gürsu	Sondaj kuyusu	0,00	0,00	20,29
18	Beştepe	Sondaj kuyusu	0,13	0,42	22,14
19	Sorkun	Sondaj kuyusu	0,00	0,03	0,03
20	Kırka	Sondaj kuyusu	0,02	0,02	28,92
21	Emirhisar	Kaynak	0,00	0,01	13,96
22	Sandıklı	Sondaj kuyusu	0,00	0,10	33,14
23	Nuh	Kaynak	0,00	0,03	9,29
24	Serban	Kaynak	0,02	0,01	0,00
25	Akharım	Kaynak	0,00	0,01	13,96
TS 266-WHO Sınır Değerler			0,05-0,50	0,05	45-50

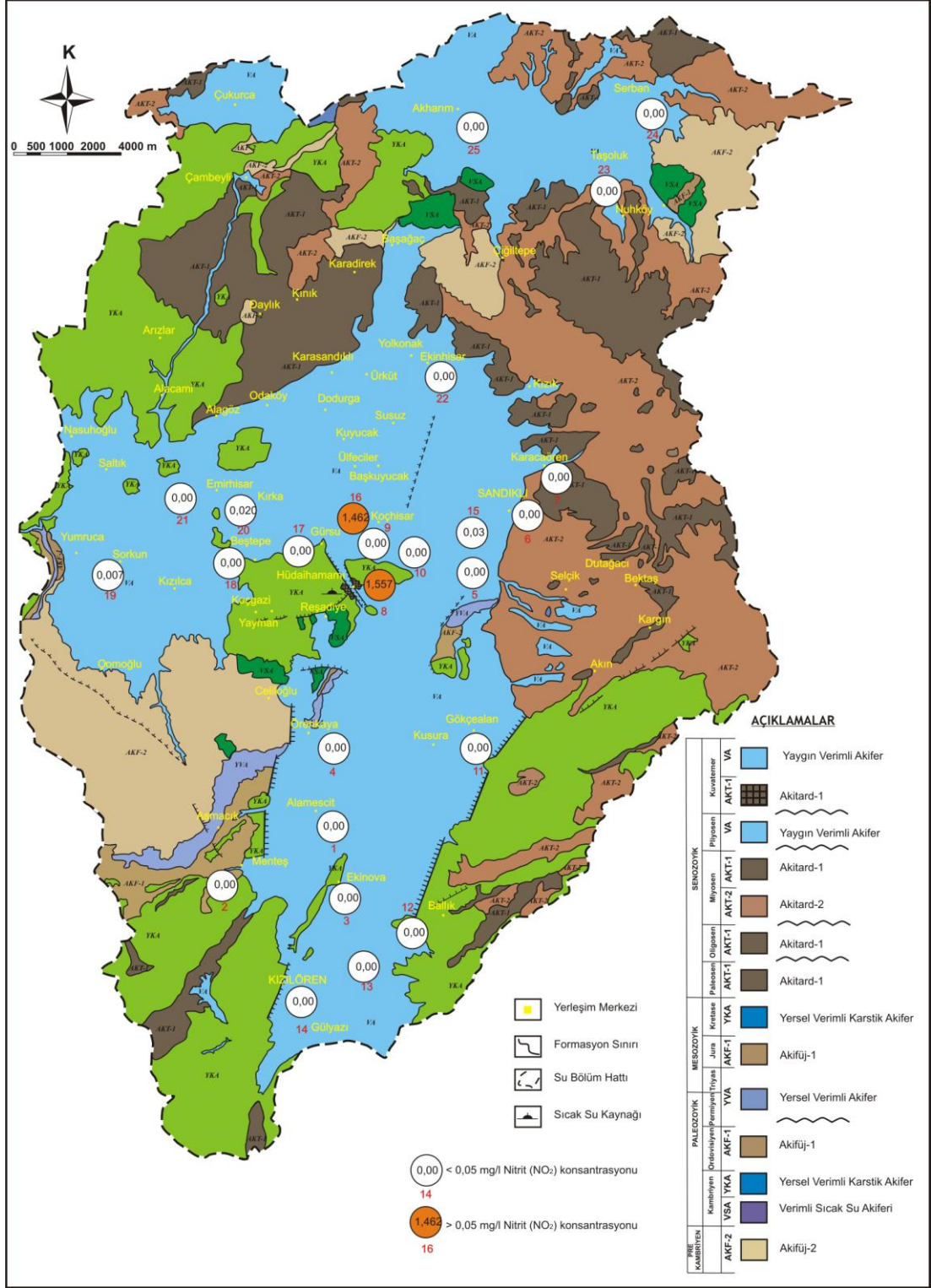
Amonyak (NH₃) ve Amonyum (NH₄⁺); Amonyak atmosferde eser miktarda bulunmaktadır. Aynı şekilde yeraltılarında da geçici olarak yeralmaktadır. Çünkü killer tarafından soğrulan amonyak oksidleşerek nitrata dönüşmektedir. Volkanizmayla ilişkili olarak da asit sülfatlı sularda amonyak bol miktarda bulunabilmektedir. Ayrıca, azot türevleri olan amonyak ve amonyum iyonu bitkilerin soğurması ile de ortamı kısa sürede terk etmektedir (Şahinci, 1991).

Dünya Sağlık Örgütü İçme suyu standartları (WHO) ve Türk İçme Suyu standartlarına (TS 266) göre sularda olması gereken amonyak içeriğinin sınır değeri sırasıyla 0,05 mg/l ve 0,50 mg/l olarak belirlenmiştir (Bkz. Çizelge 4.43.; Çizelge 4.44.).Çalışma alanında her iki dönemde alınan örneklerde yapılan analiz sonuçlarına göre elde edilen amonyak konsantrasyonlarının sınır değeri aşmadığı dağılım haritasında görülmektedir (Çizelge 4.54.; Çizelge 4.55.; Şekil 4.48.).

Nitrit (NO_2^-); Nitrit iyonu sularda oldukça yaygın olarak görülür ama nitrata oranla oldukça düşük miktardadır. Oksijenin bulunduğu ortamlarda kararsız durumda olduğundan, amonyak ve nitrat arasında (nitrifikasyon) veya nitrat ve azotoksit arasında (denitrifikasyon) geçiş formu olarak bulunmaktadır. Suda nitritin bulunması organik kirlenme tarafından etkilenmiş aktif biyolojik süreçlerin varlığını göstermektedir. Güneş ışığı ve bazı bakteriler nitratları nitrite dönüştürmektedir. Nitrit, insan ve hayvanlar için nitrattan daha fazla zehirleyicidir (Şahinci, 1991).

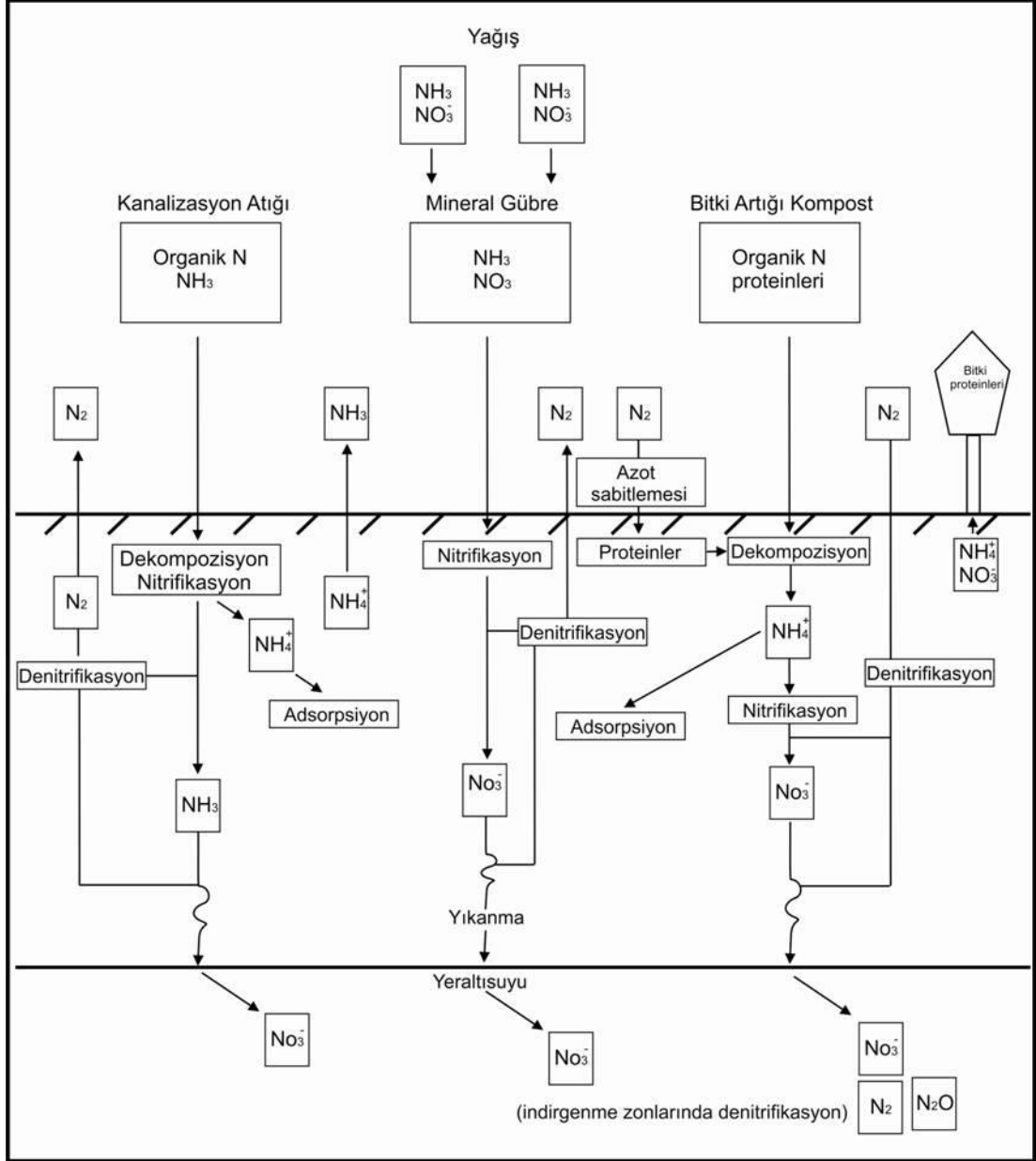
Dünya Sağlık Örgütü İçme suyu standartları (WHO) ve Türk İçme Suyu standartlarına (TS 266) göre nitrit konsantrasyonunun 0,05 mg/l'yi aşmaması gerekmektedir (Bkz. Çizelge 4.43.; Çizelge 4.44.).

Çalışma alanında Ağustos-2009 dönemine ait nitrit konsantrasyonu 0,00-1,462 mg/l değerleri arasında değişirken 16 nolu Koçhisar örneğinde nitrit konsantrasyonunun (1,462 mg/l) sınır değeri aştığı görülmektedir (Çizelge 4.54.; Çizelge 4.55.; Şekil 4.49.). Nisan-2010 dönemi için nitrit konsantrasyonu 0,00-0,42 mg/l arasında değişmektedir. Bu dönemde de 18 nolu Beştepe mevkiine (0,42 mg/l) ve 22 nolu Sandıklı mevkiine (0,10 mg/l) ait numunelerde nitrit konsantrasyonu sınır değeri aşmaktadır. Hüdayi mineralli sıcak su kaynağında ise nitrit konsantrasyonu 1,37-1,557 mg/l olarak belirlenmiştir. Sınır değeri aşan bölgelerde hayvancılık yapılması ve tarımsal faaliyetlerin yoğun olması ile direk doğal gübre kullanımı nitrit konsantrasyonun miktarını artırmaktadır.



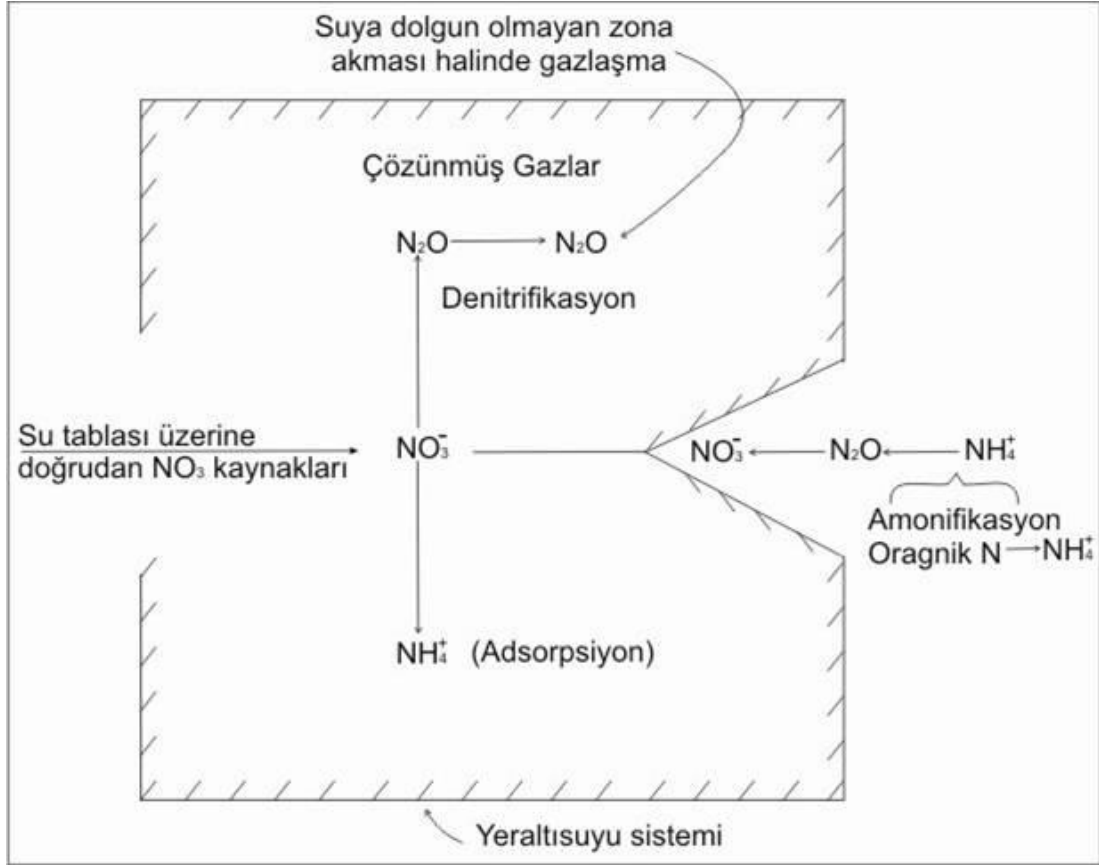
Şekil 4.49. Nitrit (NO₂) konsantrasyonu dağılım haritası (Ağustos-2009)

Nitrat (NO_3^-); Yeraltısuyundaki en yaygın kirletici nitrat formundaki çözünmüş azottur. Yeraltısularında nitratın başlıca kaynağı, ayrılmış bitki ve hayvan artıklarının, tarımda kullanılan nitratlı gübrelerin, endüstri atıklarının ve kanalizasyon atıklarının yeraltına süzülmesidir. Magmatik ve tortul kayalardan gelen yeraltısularındaki nitrat miktarları arasında pek fark yoktur. Ancak ikincil olarak bozunum ve kirlenmelerden ortaya çıkan nitrat iyonları, yeraltısularını zenginleştirebilmektedir. İstenmeyen konsantrasyonlardaki nitrat varlığı dünyanın birçok yerlerinde geniş akifer sistemlerini tehdit etmektedir. Yeraltısuyundaki nitrat genellikle yeryüzeyindeki, zemin kuşağındaki veya nitratça zengin atıkların bulunduğu yerlerdeki nitrat kaynağından türemektedir (Şekil 4.50.; Freeze, 2003; Şahinci, 1991).



Şekil 4.50. Yeraltı ortamında azotun kaynağı ve hareket yolları (Freze, 2003)

Yeraltısuyundaki nitrat bazı durumlarda arazi yüzeyine saçılan gübre veya atıklardan kaynaklanabileceği gibi doğal olarak veya zemine insani faaliyetler yoluyla giren organik azotun veya amonyum iyonunun nitrata dönüşümünden de kaynaklanabilmektedir. Organik azotun, amonyum iyonuna dönüşüm sürecine amonifikasyon denilmektedir. Nitrifikasyon sürecinde ise amonyum iyonu oksitlenme ile nitrata dönüşmektedir. Amonifikasyon ve nitrifikasyon süreçleri genellikle organik madde ve oksijenin bol olduğu su tablası üzerinde oluşur (Freze, 2003; Şekil 4.51.).



Şekil 4.51. Yeraltısuyu sistemlerinde azot girdileri ve dönüşümleri (Freze, 2003)

Gübrelemenin yüzey suları ve içme suları üzerine olumsuz etkileri en çok azotlu ve kısmen de fosforlu gübrelerin dengesiz bir şekilde kullanımından kaynaklanmaktadır. Gübreleme ile sulara karışan veya bitki bünyesinde birikebilen nitrat suları kirletici ana unsurdur. Yüksek düzeyde azotlu gübreleme sonucu topraktan yıkanmalarla, içme suları ve akarsularda nitrat miktarında artış gözlenebilmektedir (Çevreonline, 2009). Dünya Sağlık Örgütü İçme suyu standartları (WHO) ve Türk İçme Suyu standartlarında (TS 266) nitrat sınır değerleri 45-50 mg/l verilmiştir (Çizelge 4.54.; Çizelge 4.55.).

Çalışma alanında bazı lokasyonlarda nitrat konsantrasyonunun yüksek olması (>50 mg/l) nedeniyle üç dönem analiz yapılmasına karar verilmiştir (Çizelge 4.56.). Analiz sonuçlarına bakıldığında havzanın hemen hemen tamamında yeraltısularının nitrat konsantrasyonunun 10 mg/l'nin üzerinde olduğu görülmektedir. Bu durum, yeraltısularında nitrat artışının antropojenik kökenli olduğunu göstermektedir.

Çalışma alanı yoğun olarak tarım yapılan ve özellikle de bol sulama ve ilaçlama gerektiren patates ürününün geniş alanlarda yetiştirildiği bir bölgedir. Literatürde yapılan çalışmalarda bu tür alanlarda yüksek nitrat konsantrasyonuna rastlanıldığı belirtilmiştir (Shrestha et al., 2010; Olson et al., 1970; Tanner et al. 1982). Bölgede her üç dönemde de özellikle Ekinova, Emirhisar ve Koçhisar bölgelerinden alınan yeraltısularının nitrat içeriklerinin sınır değer olan 45 mg/l'nin üzerinde olduğu görülmektedir (Şekil 4.52.; Şekil 4.53.; Şekil 4.54.). Bu suların zaman zaman içme suyu olarak da kullanılması çalışma alanında nitratın en önemli kirletici unsur olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.56. Ağustos 2009 - Ekim 2009 – Nisan 2010 nitrat analiz sonuçları

No	Yer Adı	Numune Tipi	NO ₃ (mg/l) Ağustos 2009	NO ₃ (mg/l) Ekim 2009	NO ₃ (mg/l) Nisan 2010
1	Alamescit	Sondaj kuyusu	9,4	17,48	3,55
2	Menteş	Sondaj kuyusu	0,15	8,23	0
3	Ekinova	Sondaj kuyusu	88,2	65,62	66,9
4	Örenkaya	Kaynak	38,4	43,4	33,85
5	Sandıklı	Sondaj kuyusu	30,45	55	33,76
6	Sandıklı	Kaynak	28,85	39,2	27,52
7	Karacaören	Kaynak	1,1	9,08	0,67
8	Hüdaihamamı	Kaynak	2,75	10,83	0
9	Hüdaihamamı	Sondaj kuyusu	16,3	20,3	26,9
10	Yunusemre	Sondaj kuyusu	33,7	41,78	31,52
11	Gökçealan	Sondaj kuyusu	16,85	32,9	20,79
12	Ballık	Sondaj kuyusu	11,25	19,33	20,74
13	Kızılören	Sondaj kuyusu	13,5	21,58	13,92
14	Kızılören	Sondaj kuyusu	10,55	18,63	10,78
15	Sandıklı*	Sondaj kuyusu	10,55	17,98	10,33
16	Koçhisar	Sondaj kuyusu	19,2	27,28	46,97
17	Gürsu	Sondaj kuyusu	25,7	39,77	20,29
18	Beştepe	Sondaj kuyusu	19,85	29,4	22,14
19	Sorkun	Sondaj kuyusu	0,3	8,38	0,03
20	Kırka	Sondaj kuyusu	19,65	30,1	28,92
21	Emirhisar	Kaynak	82,8	90,12	13,96
22	Sandıklı	Sondaj kuyusu	16,7	19,6	33,14
23	Nuh	Kaynak	34,4	49,7	9,29
24	Serban	Kaynak	9,85	17,93	0
25	Akharım	Kaynak	0,55	8,63	13,96
TS 266 sınır değeri = 50 mg /l			WHO sınır değeri = 45 mg/l		

Pestisitler

Tarım alanlarında kirlilik etkenleri arasında azot türevlerinden sonra pestisit kalıntılarında kaynaklanan olumsuz etkiye yoğun olarak karşılaşılmaktadır. Pestisitlerin su içerisinde hareketliliği kısmen suda eriyebilirlik ve formulasyonuna bağlıdır. Suda eriyebilen yada suda eriyebilecek şekilde formüle edilen pestisitler su içerisinde kısa sürede dağılırlar. Fakat toz veya granül formda olanlar su içerisinde askıda kalarak uzun süre aktif maddelerinin yayılmasına neden olurlar (Atamanalp ve Yanık, 2001). Bu pestisitlerin sudaki çözünürlüğü; bileşiğin kimyasal yapısına, suyun pH, sıcaklık, tuz ve organik madde konsantrasyonuna bağlı olarak değişir.

Pestisit uygulama işlemindeki kullanılan pestisit miktarı, zamanlaması ve uygulama yöntemi pestisit kirlenmesi sorununun oluşmasında oldukça önemlidir. Ne kadar çok pestisit kullanılırsa yeraltı sularının kirlenme ihtimali de o kadar çok olmaktadır. Yağış miktarı, sulama ve bundan dolayı oluşan yeraltı akımları pestisitlerin hareketlerinde önemli rol oynamaktadır. TS 266'ya göre sudaki pestisit oranı 0,10 µg/l'yi geçmemelidir. Tarımsal faaliyetlerde kullanılan kimyasal ilaçlar, kimyasal ve doğal gübreler öncelikle toprağı, oradan da süzülerek yeraltısuyunu etkileyebilmekte ve pestisit kirliliğine neden olmaktadır.

Çalışma alanında pestisit kirliliğinin tespiti amacıyla Nisan ve Ekim-2010 dönemlerinde 9 adet su örneği alınmış ve pestisit kalıntı analizleri Isparta Tarım ve Köy İşleri İl Kontrol Laboratuvarı tarafından yapılmıştır (Çizelge 4.57.). Bu analizlerde pestisit kalıntılara rastlanılamamıştır. Ancak, kullanılan pestisit türlerinin yıllık bazda değişim göstermesi, pestisitlerin yarılanma ömürlerinin değişmesi, ortam koşulları ve pestisit kullanım şekli ile uygun analiz metodlarının seçimi gibi etkenler pestisit varlığının belirlenmesini sınırlandırmaktadır. Bu nedenle, pestisit kirliliğine yönelik araştırmalarda yukarıda bahsedilen unsurlar gözönünde bulundurularak sürekli ölçümlerin yapılması gerekmektedir.

Çizelge 4.57. Nisan-2010 ve Ekim-2010 dönemlerine ait yerinde ölçüm ve pestisit analiz sonuçları

ÖRNEK NO	YER ADI	KOORDİNAT			pH	EC (µs)	T (C ⁰)	TDS g/l	SAL	DOI %	DOI mg/l	Pestisit	
		X	Y	Z								Nisan 2010	Ekim 2010
P-1	Akharım	0260805	4279909	1059	8,41	669	15,79	0,157	0,40	379,8	38,26	TEDB	TEDB
P-2	Ekinhisar	0258107	4268339	1067	8,37	509	13,49	0,162	0,32	419,8	43,24	TEDB	TEDB
P-3	Sandıklı	0260744	4260285	1062	8,35	276	18,01	0,198	0,15	407,5	39,71	TEDB	TEDB
P-4	Beştepe	0247916	4259466	1035	8,34	392	16,81	0,282	0,22	387,4	35,57	TEDB	TEDB
P-5	Kızılca	0245623	4258813	1021	8,39	581	12,14	0,177	0,38	512,4	54,8	TEDB	TEDB
P-6	Reşadiye	0252813	4256843	1044	8,40	492	15,41	0,169	0,29	324,3	32,8	TEDB	TEDB
P-7	Karapınar	0258855	4256135	1066	8,26	297	18,53	0,186	0,16	412,4	36,77	TEDB	TEDB
P-8	Alamescit	0252225	4247015	1037	8,21	582	11,96	0,214	0,38	470,7	51,2	TEDB	TEDB
P-9	Kızılören	0257025	4243995	1238	8,08	269	11,57	0,241	0,17	96,9	10,41	TEDB	TEDB

* TEDB : Tespit Edilebilir Düzeyde Bulunamamıştır.

Ağır metaller

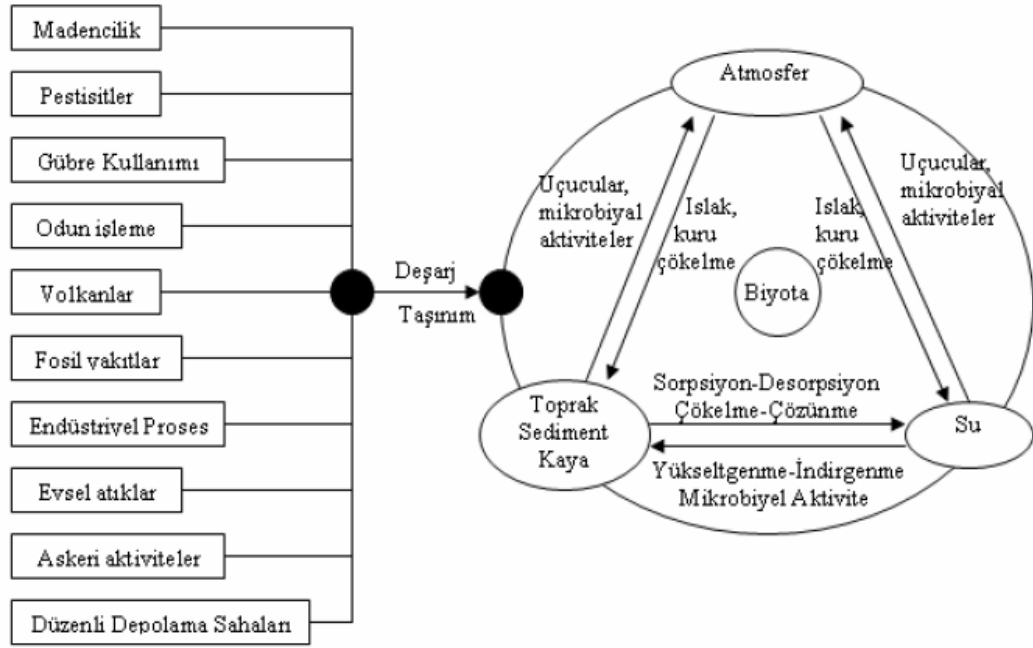
Ağır metaller yeraltısularında izlenen üçüncül elementlerdir. Bunlar ‘geçiş elementleri’ ya da ‘iz elementler’ olarak da tanımlanmaktadır. Bu çalışmada yeraltısularında gözlenebilecek ağır metal kirliliğinin araştırılması amacıyla Ağustos-2009 ve Nisan-2010 dönemlerinde alınan örnekler üzerinde ağır metal analizleri Acme (Kanada) Laboratuvarında yaptırılmıştır (Çizelge 4.58.; Çizelge 4.59.). Değerlendirmede Türk İçme Suyu (TSE 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartları dikkate alınmıştır (Bkz. Çizelge 4.43.; Çizelge 4.44.). Burada suyun içilebilme özelliklerini denetleyen ağır metaller ayrı ayrı ele alınmış ve her biri ayrı dağılım haritaları üzerinde sunulmuştur.

Alüminyum (Al); Alüminyum, yerkabuğunda önemli miktarda (% 8,6) olmasına karşın, az çözünmesi nedeniyle, yeraltısularında önemsiz miktarda bulunmaktadır. pH 5-9 arasında olan yeraltısularının alüminyum içeriği 1 mg/l’den azdır. Genellikle, yeraltısularında 0,005-0,3 mg/l arasında alüminyum izlenirken asit sularda bu değer 100 mg/l’e erişebilmektedir. Alüminyumun suda az bulunuşu, özellikle suyun kökeni ve maden yatakları hakkında bilgi vermesi bakımından önemlidir (Şahinci, 1991).

TS 266 (2005) içme suyu standardına göre alüminyumun sınır değeri 5 µg/l, WHO (1970) standardına göre ise 0,01 mg/l’dir (Bkz. Çizelge 4.43.; Çizelge 4.44.). Soğuk su örneklerinde belirlenen Al içeriği Ağustos-2009 dönemi için 1 – 522 µg/l, Nisan-2010 dönemi için 2-571 µg/l, arasında değişmektedir. Hüdai sıcak ve mineralli su örneğinin Al değeri ise 2–17 µg/l olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.58.; Çizelge 4.59.; Şekil 4.55.). Havza genelinde birçok örnekte dış kökenli kirliliğe bağlı olarak alüminyum konsantrasyonu yüksek çıkmıştır. En yüksek Al içeriği Sandıklı ilçesinin kuzeyinde bulunan Karacaören mevkiinde Sandıklı lavları içerisinde boşalan kaynaktan belirlenmiştir. Burada Al artışının kaya-su etkileşimine ile volkanik kökenli birimler içerisindeki feldispat, kaolen ve mika minerallerine (Eriksson, 1981) bağlı olarak gerçekleşmektedir.

Arsenik (As); Arsenik 200'den fazla mineral türünde bulunmakla beraber doğada jeolojik olarak geniş bir alana yayılmıştır. Kalkofil bir element olan arsenik, hidrotermal damarlarda Au, Ag, Cu, Ni, Co, Fe gibi elementlerle, Ni-Cu sülfid yataklarında, bazı uranyum damarlarında, bakırlı şeyl ve kumtaşlarında (Cu, V, U, Ag gibi elementlerle), fosfatlı kayalarda, oksidlerde gözlenmektedir. Yer kabuğundaki ortalama konsantrasyonu 2 mg/l, yoğunluğu ise 5,78 g/cm³'dür. Elementel arsenik suda çözünmezken inorganik arsenik tuzları, pH ve iyonik ortama bağlı olarak geniş aralıklı çözünürlükler göstermektedir. Yeraltısularındaki arsenik seviyesi, volkanik kayalar ve sülfürlü minerallerin depolandığı yerler hariç, ortalama 1-2 µg/l'dir (Şahinci, 1991). Ayrıca, arsenik içeren tarımsal ilaçların kullanılması hem toprağa oradan da süzülme yoluyla yeraltına geçmesi açısından oldukça tehlikelidir. As doğada hem doğal hem de antropojenik (dış kökenli kirlilik) kaynaklı olarak bulunabilmektedir (Şekil 4.56.).

TS 266 (2005) içme suyu standardına göre arseniğin sınır değeri 10 µg/l, WHO (1970) standardına göre ise 0,05 mg/l'dir (Bkz. Çizelge 4.43.; Çizelge 4.44.). Havzada soğuk sulara ait su örneklerinde elde edilen Ağustos-2009 dönemi As değerleri <0,5 – 126,6 µg/l, Nisan-2010 dönemi ise <0,5-102,1 µg/l arasında değişmektedir. Hüdai sıcak ve mineralli su kaynağının As değeri ise 609,7 – 621,2 µg/l'dir (Çizelge 4.58.; Çizelge 4.59.; Şekil 4.57.). En yüksek As içeriği bulunan yerler Hüdaihamamı civarında açılan sondaj kuyularında, ovanın kuzey ve güney kesimlerinde noktasal olarak belirlenmiştir. Arsenik konsantrasyonunun oldukça yüksek olduğu Hüdai sıcak ve mineralli su kaynağının civarındaki sondaj kuyularında ağır metal içeriklerinin de havzadaki diğer soğuk su örneklerine göre yüksek olması, ayrıca, sıcaklık ile EC değerlerinin de aynı şekilde yüksekliği ve bulunduğu konum itibarıyla sıcak su akiferi ile bağlantılı olabileceği düşünülmektedir. Diğer mevkilerde ise antropojenik kökenli kirlenmeler söz konusu olabilir.



Şekil 4.56. Doğadaki arsenik döngüsü (Wang ve Mulligan, 2006)

Baryum (Ba); Mağmatik kayalarda hiç görülmeyen baryum, ultrabazik ve tortul kayalarda ender olarak bulunmaktadır. Metamorfik kayaların baryum oranı ise değişkendir. Akarsularda ortalama 0,045 mg/l kadar bulunan baryum, genellikle doğal sularda çok az bulunur (Şahinci, 1991). WHO (1970) standardına göre baryumun sınır değeri 1 mg/l'dir (Bkz. Çizelge 4.44.).

Havzada soğuk sulara ait örneklerinde belirlenen Ağustos-2009 dönemi Ba değerleri 11,25 – 184,2 µg/l, Nisan-2010 dönemi 9,25-148,7 µg/l'dir. Hüdai mineralli sıcak su kaynağının Ba değeri ise 59,95 – 64,32 µg/l olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.58.; Çizelge 4.59.; Şekil 4.58.).

Kadmiyum (Cd); Doğada kadmiyum bileşikler halinde bulunmaktadır. Mağmatik kayalar, mafikler, ara kayalar, felsikler ve şeyllerde 0,2 mg/l ve kireçtaşlarında 0,1 mg/l civarında Cd bulunmaktadır. Doğal sularda dip tortusunda ve asılı partiküller olarak +2 değerlikli şekildedir (Şahinci, 1991). TS 266 (2005) içme suyu standardına göre kadmiyumun sınır değeri 5 µg/l, WHO standardına göre ise 0,01 mg/l'dir (Bkz. Çizelge 4.43.; Çizelge 4.44.).

Havzadaki Ağustos-2009 dönemine ait tüm suların kadmiyum miktarı $<0,05$ mg/l'dir. Sadece 7 nolu Karacaören örneğine ait kadmiyum değeri $0,23$ mg/l'dir Nisan-2010 döneminde ise $<0,05-2,11$ $\mu\text{g/l}$ Cd belirlenmiştir (Çizelge 4.58.; Çizelge 4.59.; Şekil 4.59.).

Krom (Cr); Magmatik kayalarda ortalama 100 mg/l kadar olan krom bazik kaya mineralidir. Krom yüzeysularında genel olarak $0,001$ ppm kadar bulunmaktadır. Cr doğal sularda çok az çözünen bir elementtir (Şahinci, 1991). TS 266 (2005) içme suyu standardına göre kromun sınır değeri 50 $\mu\text{g/l}$, WHO (1970) standardına göre ise $0,05$ mg/l'dir (Bkz. Çizelge 4.43.; Çizelge 4.44.).

Havzadaki soğuk sulara ait su örneklerinde elde edilen Ağustos-2009 dönemi Cr değerleri $<0,5 - 30,9$ $\mu\text{g/l}$, Nisan-2010 dönemi $<0,5-12$ $\mu\text{g/l}$ 'dir. Hüdai mineralli sıcak su örneğinin Cr değeri ise $<0,5 - 1,1$ $\mu\text{g/l}$ 'dir (Çizelge 4.58.; Çizelge 4.59.; Şekil 4.60.).

Bakır (Cu); Mağmatik kayalarda ortalama 55 mg/l olan bakır, özellikle mafik kayalarda oldukça yüksek miktarlarda (100 mg/l) bulunmaktadır. Doğal sularda Cu^{+2} iyonu fazla orandadır. Akarsu, göl ve yeraltısularında 5 mg/l'den fazla bakır bulunuyorsa, bunun nedeni, kirlenme veya bazı özel bakır madenleri olabilir. Kirlenmiş tatlı sularda ortalama 3×10^{-3} mg/l oranında bakır bulunmaktadır. Sıcak sularda ise genel olarak Cu içeriği 5 mg/l'dir (Şahinci, 1991). TS 266 (2005) içme suyu standardına göre bakırın sınır değeri 2 mg/l, WHO (1970) standardına göre ise 1 mg/l'dir (Bkz. Çizelge 4.43.; Çizelge 4.44.).

Havzada soğuk sulara ait örneklerde elde edilen Ağustos-2009 dönemi Cu değerleri $7,3 - 35,8$ $\mu\text{g/l}$, Nisan-2010 dönemi $5,3-43$ $\mu\text{g/l}$ olarak belirlenmiştir. Hüdai mineralli sıcak su örneğinin Cu değeri ise $10,4 - 9,5$ $\mu\text{g/l}$ 'dir (Çizelge 4.58.; Çizelge 4.59.; Şekil 4.61.).

Demir (Fe); Demir yer kabuğunda oldukça bol bulunmaktadır. Karbonlu kayalardan gelen sularda (kömür, linyit, turba gibi) genellikle asit ve organik maddeler nedeniyle

fazla miktarda demir iyonları izlenebilmektedir. Genellikle kireçtaşı ve dolomitlerden gelen suların pH'ı 7'den büyük olduğu için, çok az demir iyonları içerirler. Çünkü sudaki CO₂ gazı kalsiyum iyonları ile dengelenmiştir (Şahinci, 1991). TS 266 (2005) içme suyu standardına göre demirin sınır değeri 200 µg/l, WHO (1970) standardına göre ise 0,3 mg/l'dir (Bkz. Çizelge 4.43.; Çizelge 4.44.).

Havzadaki soğuk sulara ait su örneklerinde elde edilen Ağustos-2009 dönemi Fe değerleri <10–227 µg/l, Nisan-2010 dönemi <10-4094 µg/l'dir. Nisan döneminde en yüksek Fe değerinin belirlendiği Koçhisar, Gürsu, Beştepe ve Gökçealan mevkiilerindeki sondaj kuyularına ait örneklerdeki bu artışın antropojenik etkilere bağlı olduğu düşünülmektedir. Hüdai mineralli sıcak su örneğinin Fe değeri ise <10 – 266 µg/l'dir (Çizelge 4.58.; Çizelge 4.59.; Şekil 4.62.).

Civa (Hg); Civa yer kabuğunda ve hemen hemen tüm mağmatik kayalarda 0,02 mg/l civarında bulunmaktadır. Tatlı sular 7×10^{-5} mg/l civa içerirken sıcak sularda bulunan civa oranı çok daha yüksektir. Civanın tarım ve endüstride kullanımı oldukça yaygındır (Şahinci, 1991). TS 266 (2005) içme suyu standardına göre civanın sınır değeri 1 µg/l, WHO (1970) standardına göre ise 0,002 mg/l olarak verilmiştir (Bkz. Çizelge 4.43.; Çizelge 4.44.).

Havzada soğuk sulara ait örneklerin Hg içeriği Ağustos-2009 döneminde <0,1–0,1 µg/l, Nisan-2010 döneminde ise <0,1 µg/l olarak belirlenmiştir. (Çizelge 4.58.; Çizelge 4.59.; Şekil 4.63.). Hüdai mineralli sıcak su kaynağı için de benzer değerler elde edilmiştir.

Mangan (Mn); Mangan yer kabuğunda 950 mg/l, ultrabazik kayalarda $1,6 \times 10^3$ mg/l, bazik kayalarda $1,6 \times 10^3$ mg/l civarında bulunmaktadır. Sularda karbonat ve sülfat derişimi yüksek ise (1000 mg/l) MnHCO₃ veya MnSO₄ bileşikleri izlenebilir. Asidik sularda 1 mg/l'den fazla mangan bulunabilmektedir. Sıcak sularda mangan miktarı çok fazla olabilir. Yeraltısularında ise genellikle 0,2 mg/l'den az miktarda mangan bulunmaktadır (Şahinci, 1991). TS 266 (2005) içme suyu standardına göre Mn için

sınır değeri 50 µg/l, WHO (1970) standardına göre ise 0,05 mg/l verilmiştir (Bkz. Çizelge 4.43.; Çizelge 4.44.).

Genel olarak soğuk su örneklerinin Mn içeriği Ağustos-2009 dönemi için 0,07–189,4 µg/l, Nisan-2010 dönemi için ise 0,09-233 µg/l arasında değişmektedir. Sandıklı, Karacaören ve Koçhisar mevkiilerinde mangan konsantrasyonunun yüksek olması suların dış kökenli kirlenmeler tarafından kirlendiğini ortaya koymaktadır. Bölgedeki Hüdai mineralli sıcak su örneğinin Mn değeri 167,5 – 165,3 µg/l olarak belirlenmiştir. Sıcak sularda mangan miktarı çok fazla olabilir. Yeraltısularında ise genellikle 0,2 mg/l'den az miktarda mangan bulunmaktadır (Şahinci, 1991). (Çizelge 4.58.; Çizelge 4.59.; Şekil 4.64.).

Nikel (Ni); Yerkabuğunda ortalama 75 mg/l olan nikel, ultrabazik ve bazik kayalar mineralidir. Asidik kayalarda da çok az miktarlarda bulunmaktadır. Nikel içme suyuyla temas halinde olan boru ve tesisattan metallerin sızması sonucu da karışabilmektedir. Yeraltısularındaki nikel artışı maden yatağına bağlı olarak da gerçekleşebilmektedir. Sudaki nikel miktarı pH ve alınan örneğin derinliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Şahinci, 1991). TS 266 (2005) içme suyu standardına göre Ni için belirlenen sınır değeri 20 µg/l'dir (Bkz. Çizelge 4.43.).

Soğuk sulara ait örneklerinin Ni içeriği Ağustos-2009 döneminde 0,3–18,6 µg/l, Nisan-2010 döneminde ise <0,2-24,3 µg/l olarak belirlenmiştir. Hüdai mineralli sıcak su kaynağının Ni içeriği ise 1 – <0,2 µg/l'dir (Çizelge 4.58.; Çizelge 4.59.; Şekil 4.65.).

Kurşun (Pb); Kurşunun başlıca minerali galendir (PbS). Kurşun elementinin magmatik ve tortul kayalarda bulunma oranı değişkendir. Antropojenik kökenli kurşun kirliliği özellikle araçların egzoz gazlarından ve fabrika ile konutlarda yakılan kömürlere kaynaklanabilmektedir (Şahinci, 1991). TS 266 (2005) içme suyu standardına göre kurşunun sınır değeri 10 µg/l, WHO (1970) standardına göre ise 0,05 mg/l'dir (Bkz. Çizelge 4.43.; Çizelge 4.44.).

Havzada soğuk sulara ait örneklerinde elde edilen Pb değerleri Ağustos-2009 dönemi için $<0,1-1,7 \mu\text{g/l}$, Nisan-2010 dönemi $<0,1-2 \mu\text{g/l}$ 'dir. Hüdai mineralli sıcak su örneğinin Pb değeri ise $0,2 - 0,9 \mu\text{g/l}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.58.; Çizelge 4.59.; Şekil 4.66).

Selenyum (Se); Selenyum elementi yer kabuğunda sülfür içeren minerallerle birlikte bulunmaktadır. Yeraltısularında selenyum miktarı organik madde ve demir ile doğru orantılı olarak bulunmaktadır. Genel olarak yeryüzü ve yeraltısularının selenyum içeriği $0,06 - 400 \mu\text{g/l}$ arasında iken pH değerindeki artışa bağlı olarak yeraltısularında $6000 \mu\text{g/l}$ 'ye kadar da yükselebilmektedir (Şahinci, 1991). TS 266 (2005) içme suyu standardına göre selenyumun sınır değeri $10 \mu\text{g/l}$, WHO (1970) standardına göre ise $0,01 \text{ mg/l}$ olarak verilmiştir (Bkz. Çizelge 4.43.; Çizelge 4.44.).

Havzada soğuk suların Se içeriği Ağustos-2009 döneminde $1,7-14,9 \mu\text{g/l}$, Nisan-2010 döneminde ise $0,6-12,3 \mu\text{g/l}$ olarak belirlenmiştir. Sadece Ekinova mevkiinde selenyum konsantrasyon oranı yüksektir. Hüdai mineralli sıcak su örneğinin Se değeri ise $2,1 - 0,8 \mu\text{g/l}$ 'dir (Çizelge 4.58.; Çizelge 4.59.; Şekil 4.67.).

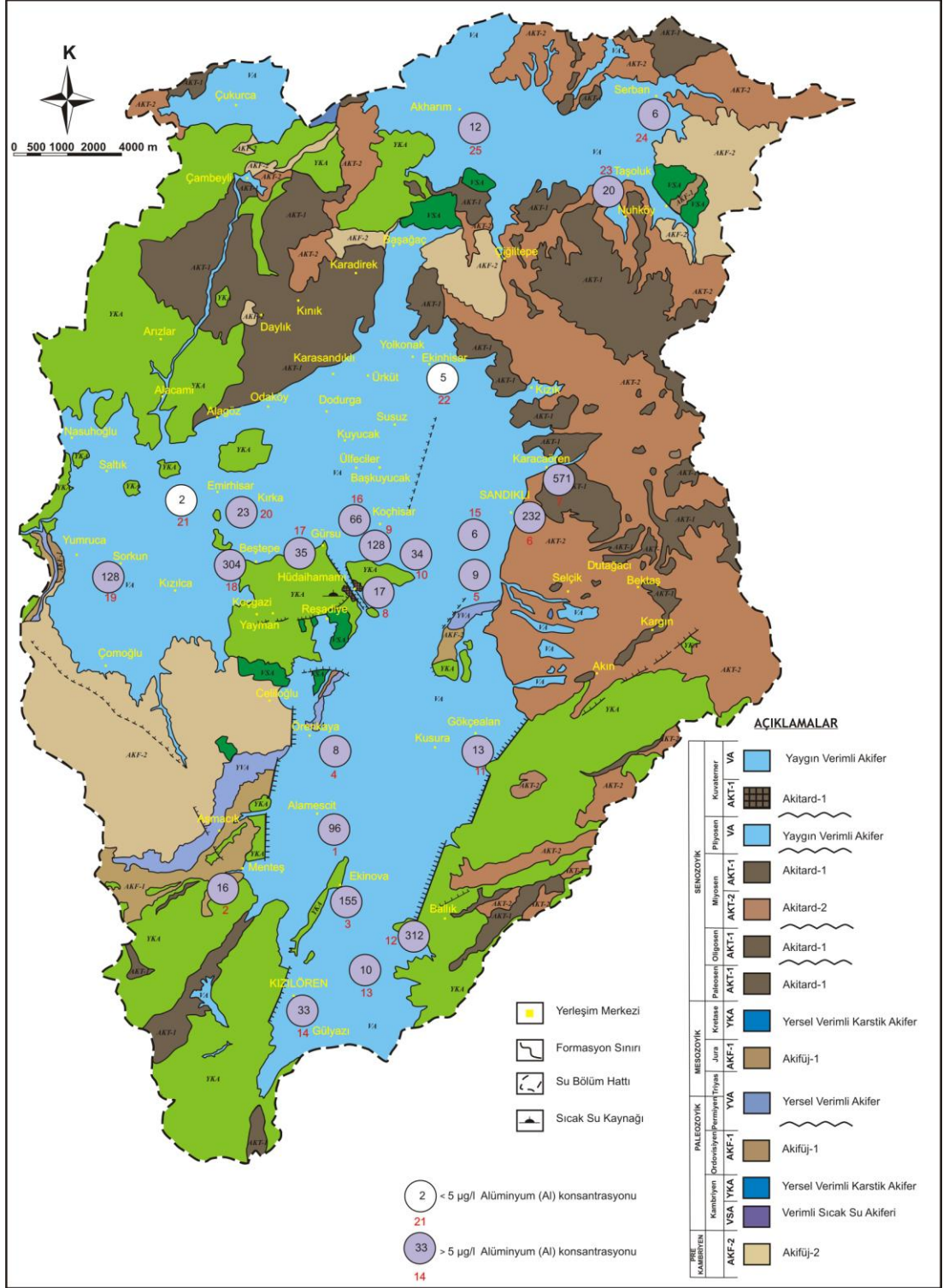
Antimon (Sb); Kurşun alaşımlarında, ilaç sanayinde, pil endüstrisinde ve elektronik sanayide yoğun olarak kullanılan antimon insan vücudu için gerekli bir metal değildir. Volkanik patlamalar ve sıcak sular vasıtasıyla doğada antimon bulunabilmektedir. Tatlı sularda $0,001 \text{ mg/l}$, sıcak sularda ise 1 mg/l 'den az miktarda bulunmaktadır. Bazik, asidik, nötr ve tüm magmatik kayalarda antimon miktarı yaklaşık $0,2 \text{ mg/l}$ 'dir (Şahinci, 1991). TS 266 (2005) içme suyu standardına göre antimon sınır değeri $5 \mu\text{g/l}$, WHO (1970) standardına göre ise $0,01 \text{ mg/l}$ 'dir (Çizelge 4.43.; Çizelge 4.44.).

Havzada soğuk sulara ait örneklerinin Sb içeriği Ağustos-2009 döneminde $<0,05-0,56 \mu\text{g/l}$, Nisan-2010 döneminde ise $0,05-0,57 \mu\text{g/l}$ olarak belirlenmiştir. Hüdai mineralli sıcak su örneğinin Sb değeri ise $0,83 - 0,97 \mu\text{g/l}$ 'dir (Bkz. Çizelge 4.58.; Çizelge 4.59.; Şekil 4.68.).

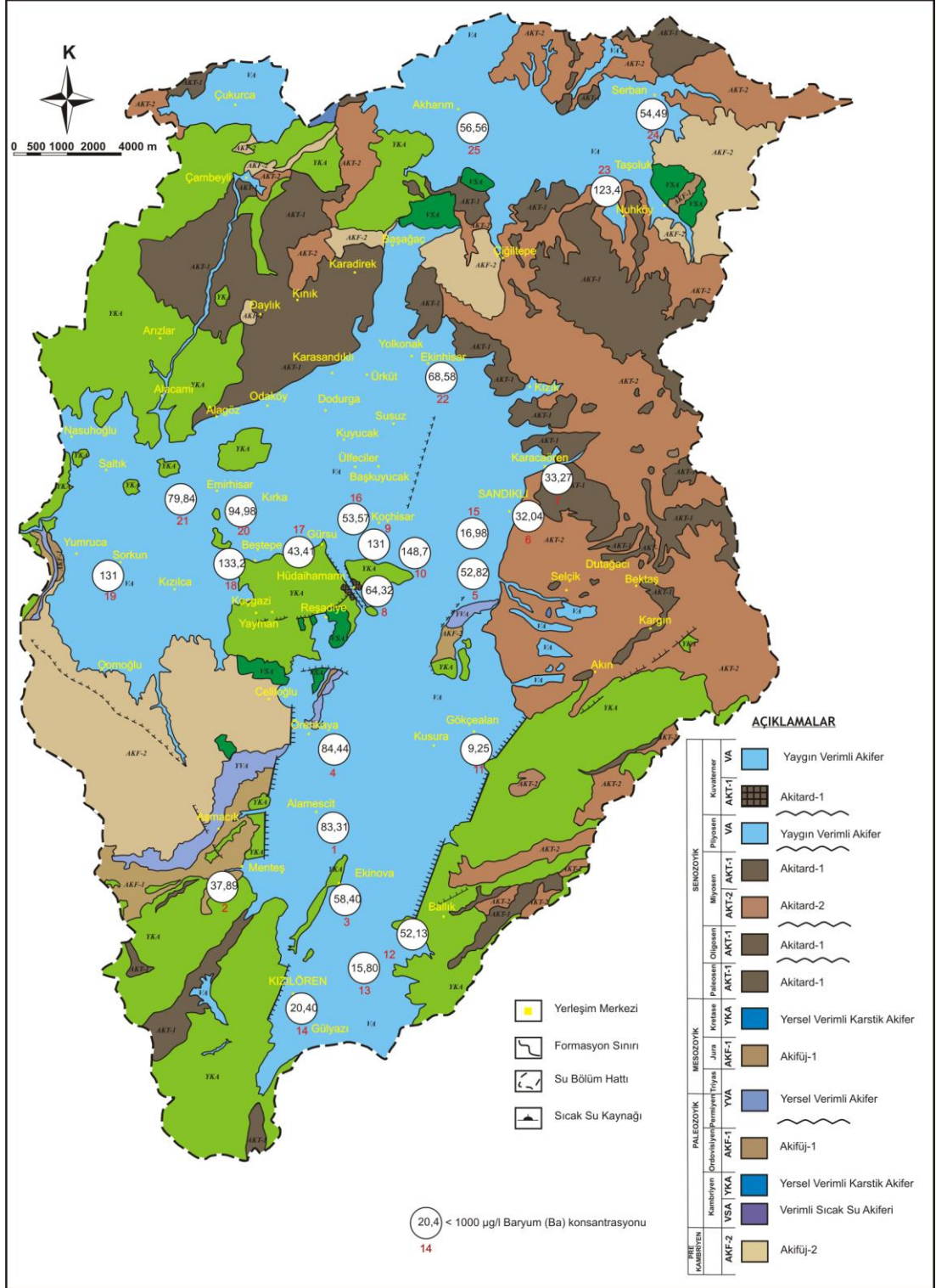
Çinko (Zn); Mağmatik kayalarda ortalama olarak 70 mg/l oranında çinko bulunurken, ultrabazik ve bazik kayalarda bu oran (mafik kayalarda: 100 mg/l, ara kayalarda: 60 mg/l) daha da yüksektir. Yüzeysularında soğurmanın etkin olması sebebiyle çözülmüş çinko oranı oldukça azdır. Yüzey sularının çinkoca kirlenmesinin önemli üç sebebi bulunmaktadır. Bunlar; sülfidlerin yıkanması sonucu ortaya çıkan asit maden suları, demir-çelik sanayi ve diğer endüstriyel artıkların sulara karışması ile kömür ve kül tozlarının yüzey sularına karışmasıdır. Kimyasal bozunum özelliği ve suda çözünürlüğü düşüktür. Doğal sularda fazla miktarda çinko çökmesi bakteriler tarafından sülfatların indirgenmesi ile gerçekleşmektedir (Şahinci, 1991). WHO (1970) standardına göre çinko için sınır değeri 5 mg/l olarak verilmiştir (Çizelge 4.44.).

Havzada soğuk suların Zn içeriği Ağustos-2009 döneminde 4 – 78,1 µg/l, Nisan-2010 döneminde ise 3,6-270,2 µg/l olarak belirlenmiştir. Hüdai mineralli sıcak su örneğinin Zn değeri ise 8 – 11,3 µg/l'dir (Çizelge 4.58.; Çizelge 4.59.; Şekil 4.69.).

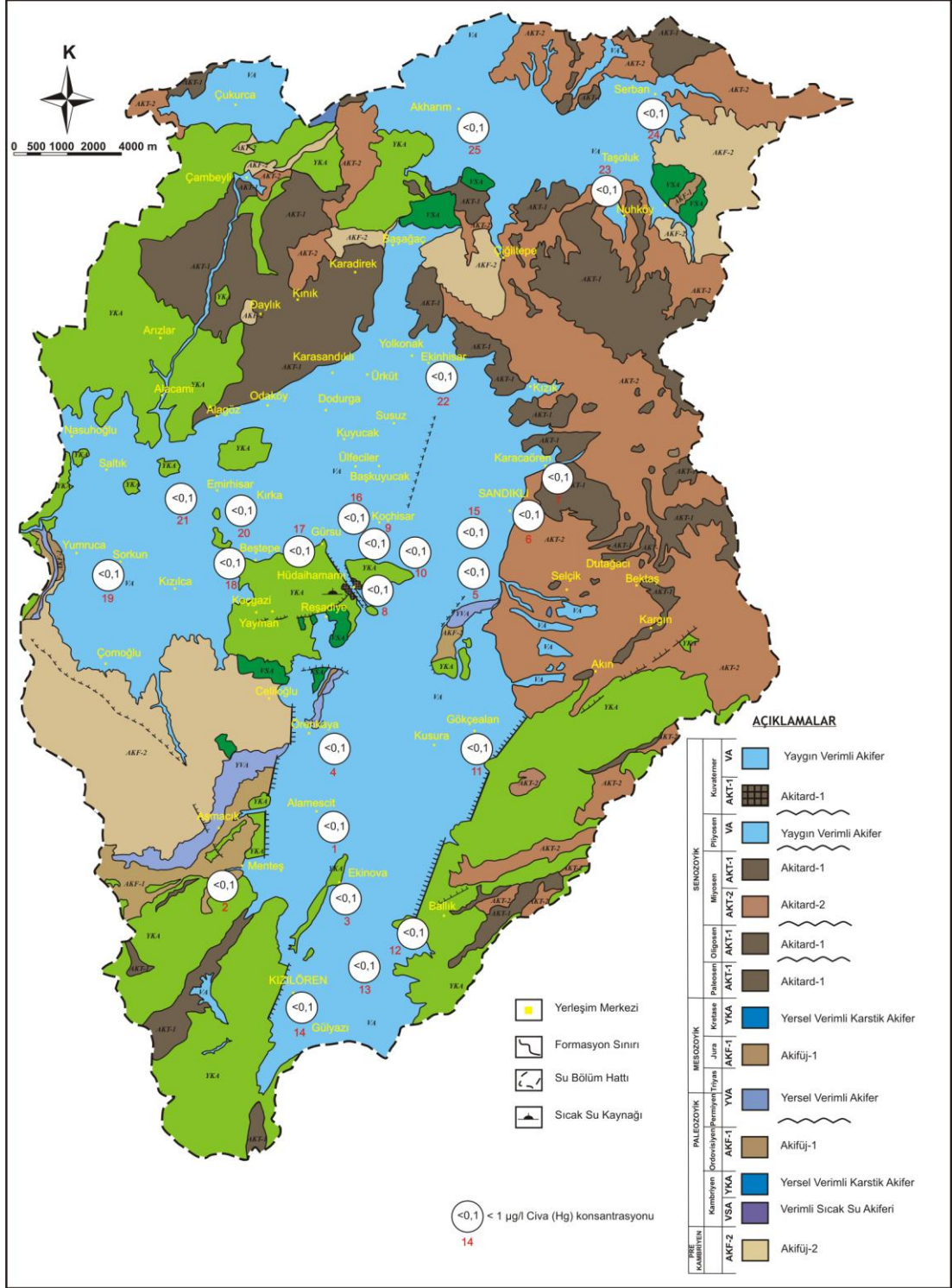
Bor (B); Ülkemizin de en önemli yeraltı zenginliklerinden birisi bor madenidir. Bor, sularda borik asit (H_3BO_3) halindedir. Sulama sularını en çok kirlüten toksik elementlerin başında bor gelmektedir. Doğal olarak sulama sularının tümünde bor bulunur ancak, derişimi çok düşüktür. Bor, yeraltısuyunda doğal olarak, yüzey sularında endüstriyel kirlenici olarak veya tarımsal yüzey akışların ve çürüyen bitki materyallerinin bir ürünü olarak bulunabilir (Uygan ve Çetin, 2004). TS 266 (2005) içme suyu standardına göre bor sınır değeri 1,0 µg/l, WHO (1970) standardına göre ise 1,0 mg/l'dir (Çizelge 4.43.; Çizelge 4.44.). Havzada soğuk suların B içeriği Ağustos-2009 döneminde <5 – 304 µg/l, Nisan-2010 döneminde ise 9-378 µg/l olarak belirlenmiştir. Hüdai sıcak ve mineralli su örneğinin B değeri ise 621-781 µg/l'dir Havzadan alınan su örneklerinde bor konsantrasyonunda sınır değeri aşan örneğe rastlanılmamıştır.



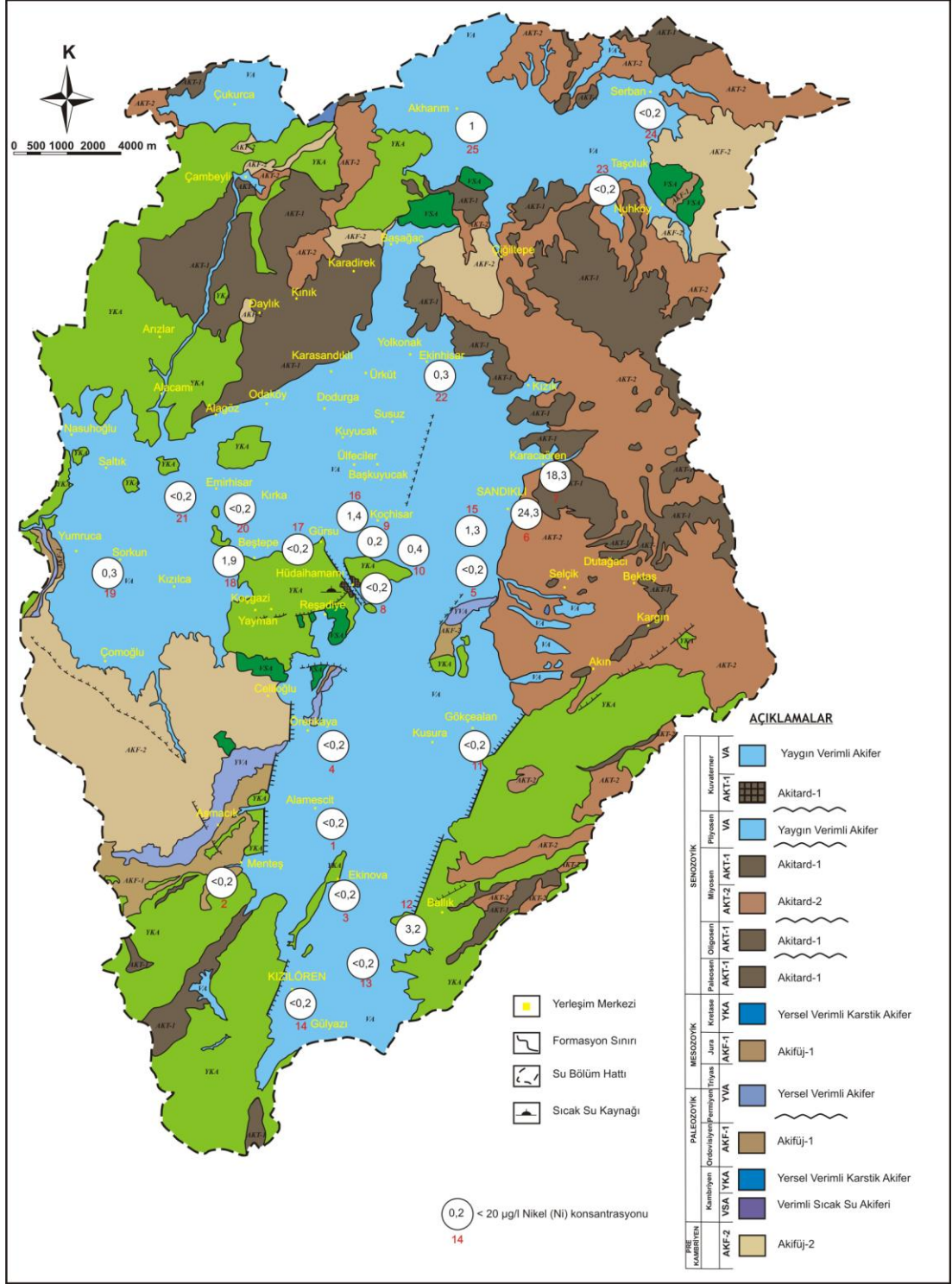
Şekil 4.55. Alüminyum (Al) konsantrasyonu dağılım haritası (Nisan-2010)



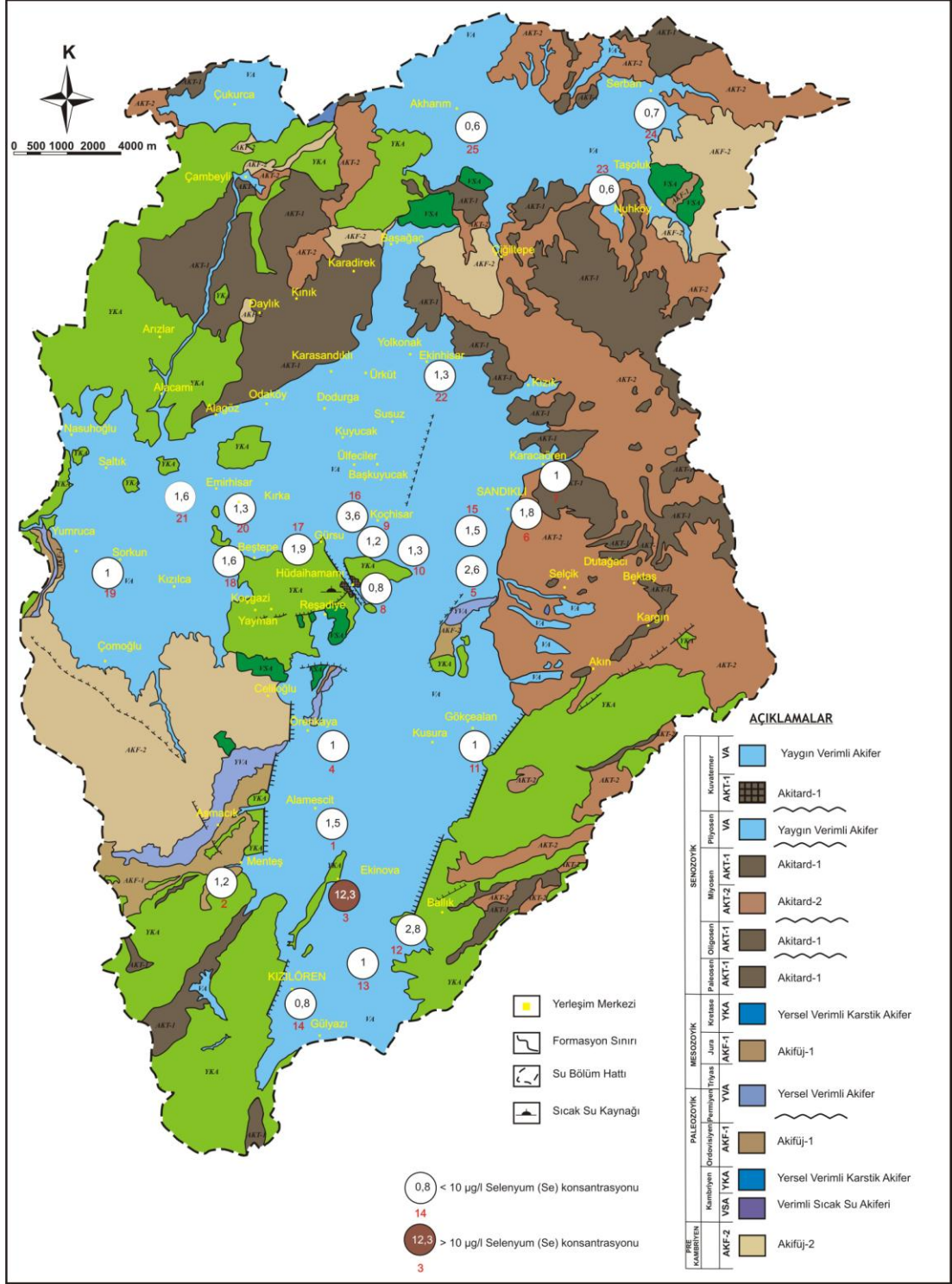
Şekil 4.58. Baryum (Ba) konsantrasyonu dağılım haritası (Nisan-2010)



Şekil 4.63. Civa (Hg) konsantrasyonu dağılım haritası (Nisan-2010)



Şekil 4.65. Nikel (Ni) konsantrasyonu dağılım haritası (Nisan-2010)



Şekil 4.67. Selenyum (Se) konsantrasyonu dağılım haritası (Nisan-2010)

Çizelge 4.58. Ağustos-2009 dönemine ait ağır metal analiz değerleri

NO	Al µg/l	As µg/l	B µg/l	Ba µg/l	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Hg µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Se µg/l	Sb µg/l	Zn µg/l
	1	0.5	5	0.05	0.05	0.5	0.1	10	0.1	0.05	0.2	0.1	0.5	0.05	0.5
1	29	2.8	12	184.2	<0.05	8.4	12.9	<10	0.1	2.08	2.0	1.7	3.3	0.17	40.6
2	13	<0.5	6	47.74	<0.05	<0.5	9.0	<10	0.1	0.74	1.4	0.3	2.9	<0.05	6.1
3	27	4.7	32	78.19	<0.05	17.1	10.5	<10	0.1	2.44	2.3	<0.1	14.9	0.13	25.5
4	5	2.2	10	160.7	<0.05	2.5	7.8	<10	<0.1	0.28	1.6	<0.1	1.7	0.09	4.7
5	11	4.4	19	74.74	<0.05	13.0	15.1	<10	0.1	0.99	1.5	0.2	2.7	0.24	5.8
6	225	0.8	47	27.31	0.05	0.9	35.8	<10	<0.1	58.50	18.6	<0.1	1.8	<0.05	13.2
7	522	0.9	12	44.03	0.23	<0.5	29.3	<10	<0.1	189.4	18.4	<0.1	1.7	0.22	44.6
8	2	609.7	621	59.95	<0.05	<0.5	10.4	<10	<0.1	167.5	1.0	0.2	2.1	0.83	8.0
9	60	12.6	38	91.85	<0.05	30.9	10.3	39	<0.1	4.42	0.3	0.1	3.1	0.39	7.1
10	161	6.1	28	138.1	<0.05	2.9	13.9	30	<0.1	7.44	1.1	0.3	3.0	0.36	8.9
11	127	3.1	12	11.25	<0.05	9.8	9.5	10	<0.1	4.17	0.4	0.3	1.7	0.15	5.9
12	307	25.7	31	51.95	<0.05	1.7	10.9	42	<0.1	20.31	2.9	0.9	2.6	0.56	8.6
13	6	<0.5	6	15.39	<0.05	2.0	9.8	<10	<0.1	0.58	0.7	<0.1	2.4	<0.05	7.3
14	67	7.7	14	40.57	<0.05	3.0	12.3	<10	<0.1	2.37	1.0	0.2	2.9	0.45	13.1
15	2	43.8	86	13.32	<0.05	5.9	9.4	<10	<0.1	1.10	0.3	<0.1	2.0	0.51	55.0
16	9	8.7	41	25.27	<0.05	12.0	12.7	<10	<0.1	0.84	0.5	0.4	5.0	0.34	9.6
17	12	126.6	304	41.80	<0.05	3.1	10.8	<10	<0.1	0.40	0.5	<0.1	3.1	0.42	7.5
18	382	5.3	25	101.1	<0.05	1.7	10.4	227	<0.1	16.42	1.9	0.3	2.4	0.08	11.8
19	5	0.9	<5	70.91	<0.05	<0.5	13.7	<10	<0.1	0.65	0.6	0.1	2.0	0.07	6.5
20	14	6.4	38	129.8	<0.05	15.8	12.4	<10	<0.1	1.39	0.7	0.2	2.2	0.23	13.2
21	6	2.4	31	81.94	<0.05	2.3	7.3	<10	<0.1	0.14	0.9	<0.1	2.2	0.10	4.0
22	12	6.1	30	57.23	<0.05	6.5	9.9	<10	<0.1	1.09	0.6	0.8	2.6	0.36	78.1
23	34	32.3	14	73.05	<0.05	0.7	10.7	55	<0.1	14.78	0.3	<0.1	2.1	0.27	6.1
24	1	21.3	21	48.91	<0.05	<0.5	8.4	<10	<0.1	0.07	0.3	<0.1	2.3	0.26	5.3
25	7	0.8	10	121.2	<0.05	<0.5	14.6	<10	<0.1	3.12	1.5	0.2	2.8	0.13	9.0

Çizelge 4.59. Nisan-2010 dönemine ait ağır metal analiz değerleri

No	Al µg/l	As µg/l	B µg/l	Ba µg/l	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Hg µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Sb µg/l	Se µg/l	Zn µg/l
	1	0.5	5	0.05	0.05	0.5	0.1	10	0.1	0.05	0.2	0.1	0.05	0.5	0.5
1	96	<0.5	15	83.31	0.06	0.7	18.6	27	<0.1	11.44	<0.2	0.7	0.15	1.5	44.1
2	16	<0.5	9	37.89	0.09	1.4	6.5	<10	<0.1	1.03	<0.2	0.2	<0.05	1.2	6.0
3	155	4.9	34	58.40	1.36	6.7	7.8	57	<0.1	9.39	<0.2	0.5	0.17	12.3	12.5
4	8	2.2	16	84.44	<0.05	0.6	7.0	<10	<0.1	0.57	<0.2	<0.1	0.08	1.0	7.6
5	9	3.6	46	52.82	0.05	4.5	8.2	<10	<0.1	0.86	<0.2	0.2	0.23	2.6	10.1
6	232	1.0	74	32.04	0.07	0.9	43.0	<10	<0.1	63.08	24.3	0.2	<0.05	1.8	18.8
7	571	0.8	16	33.27	0.21	<0.5	29.5	<10	<0.1	137.2	18.3	0.1	0.18	1.0	46.0
8	17	621.2	781	64.32	<0.05	1.1	9.5	266	<0.1	165.3	<0.2	0.9	0.97	0.8	11.3
9	128	5.7	47	131.0	0.15	4.6	8.5	286	<0.1	15.69	0.2	1.1	0.35	1.2	64.4
10	34	8.2	40	148.7	<0.05	2.9	7.3	115	<0.1	3.98	0.4	0.9	0.45	1.3	270.2
11	13	1.9	16	9.25	2.11	5.6	9.5	545	<0.1	6.76	<0.2	0.4	0.11	1.0	13.2
12	312	28.2	38	52.13	<0.05	2.9	11.3	45	<0.1	20.37	3.2	1.1	0.57	2.8	8.9
13	10	<0.5	11	15.80	<0.05	1.8	5.3	<10	<0.1	0.28	<0.2	<0.1	<0.05	1.0	4.2
14	33	6.7	21	20.40	0.11	4.5	6.2	36	<0.1	1.18	<0.2	0.2	0.11	0.8	6.1
15	6	45.3	123	16.98	<0.05	6.5	8.4	<10	<0.1	1.58	1.3	0.4	0.45	1.5	53.7
16	66	16.2	218	53.57	<0.05	12.0	13.0	4094	<0.1	233.0	1.4	0.9	0.27	3.6	17.3
17	35	102.1	378	43.41	<0.05	4.0	6.0	234	<0.1	3.96	<0.2	2.0	0.35	1.9	22.4
18	304	7.6	38	133.2	<0.05	2.0	10.5	156	<0.1	22.68	1.9	0.4	0.16	1.6	11.3
19	128	0.8	14	131.0	<0.05	0.6	10.1	98	<0.1	4.20	0.3	0.3	0.14	1.0	7.4
20	23	1.4	33	94.98	<0.05	6.3	6.6	<10	<0.1	0.91	<0.2	0.7	0.14	1.3	7.4
21	2	2.4	36	79.84	<0.05	2.1	5.0	<10	<0.1	0.09	<0.2	<0.1	0.07	1.6	3.6
22	5	7.0	49	68.58	<0.05	6.5	6.1	<10	<0.1	0.63	0.3	<0.1	0.33	1.3	35.7
23	20	28.9	18	123.4	<0.05	0.6	6.0	18	<0.1	26.93	<0.2	<0.1	0.24	0.6	4.1
24	6	23.8	28	54.49	<0.05	<0.5	5.3	<10	<0.1	0.32	<0.2	<0.1	0.26	0.7	3.9
25	12	<0.5	10	56.56	<0.05	<0.5	8.2	<10	<0.1	2.83	1.0	0.2	0.10	0.6	7.4

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Sandıklı (Afyon) havzası hidrojeoloji incelemesi amaçlı hazırlanan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Çalışma alanı olarak seçilen Sandıklı (Afyon) havzası Sandıklı ve Küçük Sincanlı ovası olmak üzere 2 ovanın birleşiminden oluşmaktadır. Küçük sincanlı ovasından doğarak Sandıklı ovası içinden devam ederek havza dışına boşalan Kestel çayı çalışma alanının yarıkapalı havza özelliği taşımasına neden olmaktadır. Havzanın merkezinde bulunan Hüdaihamamı mevkiinde Hüdai jeotermal sahasında kaynaklar ve sondaj kuyuları yardımıyla sıcak su alınmaktadır. Bu kaynaklardan balneolojik, konut ısıtmacılığı, seracılık ve turizm amaçları için yararlanılmaktadır.

- 1556 km²'lik bir alana sahip olan Sandıklı (Afyon) havzasında yer alan birimlerin jeolojik yapısına açıklık getirmek amacıyla, bölgede yapılmış önceki çalışmalar incelenmiş ve saha çalışmaları ile revize edilerek, 1/50 000 ölçekli jeoloji haritası ve kesitleri hazırlanmıştır. Bölgede yer alan kaya birimleri özelliklerine ve birbirleriyle olan ilişkilerine göre değerlendirilmiştir. Çalışma alanında Prekambriyen, Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler yer almaktadır. Temeli metamorfik kayalardan oluşan Prekambriyen yaşlı Kestel formasyonu oluşturmaktadır. Bu metamorfik temel kuvars serisit şist, albit kuvarsit şist, klorit serisit şist, şist kuvarsit, kalkşist, fillit ve metabazaltdan oluşmaktadır. Paleozoyik yaşlı birimler ise kuvarsit ve şistlerden oluşan Alt Kambriyen yaşlı Hüdai formasyonu, kireçtaşı ve dolomitlerden oluşan Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe formasyonu, kıltaşı ve killi kireçtaşı mercceklerinden oluşan Üst Kambriyen – Alt Ordovisiyen yaşlı Seydişehir formasyonundan oluşmaktadır. Çalışma alanında bulunan Mesozoyik birimler Karatepe, Derealanı, Akdağ, Oligosen konglomera ve Bozoğlan formasyonlarıdır. Çalışma alanının en genç birimlerini ise kum, çakıl, kumtaşı, kıltaşı ve çakıltaşı ardalanmasından oluşan Pliyosen yaşlı Hamamçay formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyon ve travertendir. Çalışma alanında gözlenen

volkanik birimler ise andezit, trakiandezit ve bazalttan oluşan Sandıklı lavları ve tuf, tufit ve aglomeralardan oluşan Soğucak Piroklastikleridir.

- Litolojik birimler fiziksel ve hidrojeolojik özelliklerine göre değerlendirildiğinde Kuvaterner alüvyon ve Pliyosen Hamamçay formasyonu yaygın verimli akifer olarak nitelendirilmiştir. Havzada küçük alanlarda yayılım gösteren Karatepe formasyonu yersel verimli akifer, kireçtaşlarından oluşan Akdağ ve Çaltepe formasyonları yersel karstik akiferi oluşturmaktadır. Çalışma alanında su bulundurma açısından benzer hidrojeolojik özellikler taşıyan Oligosen konglomera, traverten, Sandıklı lavları ve Bozoğlan formasyonu ile Soğucak piroklastikleri akitard ortam olarak ele alınmıştır. Derealanı, Seydişehir ve Kestel formasyonları ise geçirimsiz özellikleri nedeniyle akifüj ortamlar olarak nitelendirilmiştir. Çalışma alanında bulunan Hüdai mineralli sıcak su kaynaklarının hazne kayacı ise Hüdai formasyonuna ait kuvarsitler ve Çaltepe formasyonu kireçtaşlarıdır.

- İnceleme alanında resmi kurumlara ve şahıslara ait yaklaşık 1150 civarında sığ ve derin sondaj kuyusu bulunmaktadır. Bu kuyulardan DSİ 18. Bölge Müdürlüğü tarafından açılan sondaj kuyusunda yapılan pompaj deney verileri kullanılarak yersel verimli akiferin hidrojeolojik parametreleri (K,T,S) hesaplanmıştır. Alüvyon ortam içerisinde açılmış olan sondaj kuyularında hesaplanan transmissibilite katsayısı havza genelinde $4,29 \times 10^0 - 9,83 \times 10^1$ m²/gün arasında değişmektedir. Permeabilite katsayısı değerleri ise $1,03 \times 10^0 - 9,25 \times 10^{-2}$ m/gün'dür. Hamamçay formasyonunda açılan kuyularda belirlenen transmissibilite ve permeabilite katsayıları ise sırasıyla $3,89 \times 10^0 - 1,91 \times 10^2$ m²/gün, $1,02 \times 10^0 - 9,60 \times 10^{-2}$ m/gün değerleri arasında elde edilmiştir. Bu değerlere göre alüvyon ve Hamamçay formasyonunun benzer litolojilere sahip olduğu gözlenmiştir.

- Çalışma alanında soğuk su akiferinde yeraltısuyu seviye değişimini belirlemek için Mayıs-2007 ve Nisan-2010 yılları arasında 7 dönem yeraltısuyu seviye ölçümleri yapılmıştır. Bunlardan Kasım-2009 ve Nisan-2010 dönemleri için yeraltısuyu seviye haritaları hazırlanmıştır. Yeraltısuyu akım yönü havzanın güneyinde kuzeydoğuya; batısında kuzeye ve havzanın kuzey doğusunda bulunan Küçük Sincanlı ovasında ise

güneye Karadirek çayına doğrudur. Havzada genel akım yönü Sandıklı havzasını boşlatan Kestel çayına doğrudur. Sandıklı ovasının kuzey batısında hidrolik eğim 0,001 iken, güney doğusunda hidrolik eğim 9×10^{-4} , Küçük Sincanlı ovasında ise 0,01 olarak hesaplanmıştır.

- Çalışma alanında yoğun tarımsal faaliyetin bir sonucu olarak gerçekleşen aşırı su çekimi sürdürülebilir emniyetli yeraltısuyu miktarının belirlenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bilanço hesaplamalarında havza genelinin hidrolojik bilançosu ve yeraltısuyu seviye değişim haritaları kullanılarak yapılan yaygın verimli akiferin yeraltısuyu bilanço hesaplamaları yapılmıştır. Genel hidrolojik bilanço hesaplamasında beslenme boşalım farkının % 70'i olan $42,10 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ su emniyetli kullanılabilir yeraltısuyu potansiyelidir. Seviye değişimine bağlı hesaplamada ise $38,48 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ su yaygın verimli akiferin yeraltısuyu rezervi olarak belirlenmiştir.

- Çalışma alanında içme ve kullanım amaçlı yeraltısuyundan yararlanılırken, Hüdai mineralli sıcak su kaynağı kaplıca, turizm, ısıtmacılık ve seracılık amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle çalışma alanında soğuk ve sıcak suların kalite ve kimyası çeşitli analiz ve grafiklerle ayrıntılı olarak irdelenmiştir.

- Sandıklı havzasındaki tüm örnekler kimyasal açıdan değerlendirildiğinde HCO_3 ve Ca- Mg iyonlarının baskın olduğu görülmektedir. Piper diyagramına göre soğuk yeraltısuları genel olarak Ca-Mg- HCO_3 hidrojeokimyasal su fasiyesindedir. Hüdai mineralli sıcak su kaynağının ise Na- SO_4 'lı su fasiyesinde olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanında soğuk suların sıcak su akiferi ile etkileşim olduğu bölgelerde yersel olarak sıcaklıkları su fasiyeslerinde farklılıklar gözlenmektedir. Gibbs diyagramına göre havzada suların geneli "Kayaç Baskın" bölgede yer almaktadır. Bu durum, su ile direkt ilişkili olan kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışmasının olduğunu göstermektedir. Hüdai mineralli sıcak su kaynağı ise "Evaporasyon-Kristalizasyon Baskın" bölgede yer almaktadır ve mağmatizma kökenli olduğunu göstermektedir.

- Sandıklı havzasında soğuk sularının Schoeller içilebilirlik diyagramına göre "çok iyi kaliteli sular" ve "iyi kaliteli sular" sınıfında olduğu soğuk su akiferinin içilebilir karakterde olduğu belirlenmiştir. Hüdai mineralli sıcak su kaynağı ise elektriksel iletkenlik (EC) ve sertlik değerlerinin yüksek olması nedeniyle "orta kaliteli sular" sınıfında yer almaktadır.

- Yeraltısularının bakteriyolojik kirliliğinin belirlenebilmesi için yapılan araştırmada havza genelinde herhangi bir mikrobiyolojik kirlenmeye rastlanılmamıştır. Sadece M-5 nolu örnekte koliform bakteriye rastlanılmıştır. Bu lokasyon civarında bulunan hayvan barınaklarının mikrobiyolojik kirlilik açısından etkili olduğu düşünülmektedir.

- Çalışma alanında yeraltısuları sulama açısından değerlendirildiğinde Yeraltısularının C₁S₁, C₂S₁ ve C₄S₂ sınıflarında yer aldığı ve sulama için uygun olduğu belirlenmiştir. Hüdai mineralli sıcak su kaynağı ise C₄S₁ sınıfında yer almaktadır ve sulama amaçlı kullanım için Na ve EC değerlerinin yüksek olması nedeniyle uygun değildir. Su örnekleri Wilcox diyagramına göre "çok-iyi kullanılabilir" sular sınıfında yer almaktadır. Hüdai mineralli sıcak su kaynağı ise "şüpheli kullanılamaz ve sulamaya uygun değil" sınıfındadır.

- Suların kökeni ve yüzeye çıkış mekanizması ile ilgili ayrıntılı bilgi edinmek için yapılan izotop analizi sonuçlarına göre, tüm örneklerin $\delta^{18}\text{O}$ - δD diyagramları üzerindeki konumları meteorik kökene işaret etmektedir. Ancak, Hüdai mineralli sıcak su kaynağı izotop içeriği açısından meteorik kökeni işaret etmesine rağmen, suların sıcaklığı, kaya-su etkileşimi ve derin dolaşıma bağlı olarak izotop içerikleri havzadaki diğer soğuk su örneklerine göre farklılıklar göstermektedir. Tritiyum değerlerinde ise sıfıra doğru azalma suyun akifer içerisinde kalış süresinin arttığını göstermektedir.

- Havzanın yeraltısuyununun kirlilik durumunun tespit edilebilmesi için havzayı temsil eden lokasyonlardan örnekler alınarak nitrat (NO₃), nitrit (NO₂), amonyak (NH₃) ve ağır metal analizleri de yapılmış ve özellikle tarımsal faaliyetlerde kullanılan

kimyasal ilaçlar, kimyasal ve doğal gübrelere sebep olduğu suların dış kökenli kirleticilerden olumsuz etkilendiği belirlenmiştir. Çalışma alanında herhangi bir amonyak kirlenmesine rastlanılmamıştır. Nitrit konsantrasyonunun Koçhisar, Beştepe ve Sandıklı mevkiilerinde sınır değeri aştığı görülmüştür. Bu bölgelerde hayvancılık yapılması ve tarımsal faaliyetlerin yoğun olması ile direkt doğal gübre kullanımı nitrit konsantrasyonunun miktarını artırmaktadır. Havza genelinde nitrat konsantrasyonlarının 10 mg/l'nin üzerinde olduğu görülmektedir. Yersel olarak da bazı lokasyonlarda 50 mg/l'nin üzerinde nitrat içeriği belirlenmiştir. Bu durum, yeraltısularında nitrat artışının antropojenik kökenli olduğunu göstermektedir. Bu suların zaman zaman içme suyu olarak da kullanılması çalışma alanında nitratin en önemli kirletici unsur olduğunu göstermektedir.

- Çalışma alanında pestisit kirliliğinin tespiti amacıyla yapılan pestisit kalıntı analizleri sonuçlarında herhangi bir pestisit kalıntısına rastlanılmamıştır. Ancak, kullanılan pestisit türlerinin yıllık bazda değişim göstermesi, pestisitlerin yarılanma ömürlerinin değişmesi, ortam koşulları ve pestisit kullanım şekli ile uygun analiz metodlarının seçimi gibi etkenler pestisit varlığının belirlenmesini sınırlandırmaktadır. Bu nedenle, pestisit kirliliğine yönelik araştırmalarda yukarıda bahsedilen unsurlar gözönünde bulundurularak sürekli ölçümlerin yapılması gerekmektedir.

- Çalışma alanında yeraltısularında kirlilik oluşturabilecek ağır metallerin analizleri de yapılmıştır. En yüksek Al içeriği Sandıklı ilçesinin kuzeyinde bulunan 7 nolu örneğe ait Karacaören mevkiinde Sandıklı lavları içerisinde bulunan kaynaktan belirlenmiştir (522-571 ppm). Burada Al artışının kaya-su etkileşimine ile volkanik kökenli birimler içerisindeki feldispat, kaolen ve mika minerallerine bağlı olarak gerçekleşmektedir. As içeriği açısından en yüksek değer ise Hüdaihamamı mevkiinde kuzey batısında bulunan 17 nolu örneğe ait Gürsu'da açılan sondaj kuyusunda belirlenmiştir (102,1-126,6 ppm). Bu kuyuda diğer ağır metal içeriklerinin de havzadaki soğuk su örneklerine göre yüksek olması, ayrıca, sıcaklık ile EC değerlerinin de aynı şekilde yüksekliği ve bulunduğu konum itibarıyla sıcak su akiferi ile bağlantılı olabileceği düşünülmektedir. Yüksek Fe değerinin belirlendiği

Koçhisar, Gürsu, Beştepe ve Gökçealan mevkiilerindeki sondaj kuyularına ait örneklerdeki bu artışın antropojenik etkilere bağlı olduğu düşünülmektedir. Karacaören örneğine ait kadmiyum değeri 0,23 ppm olup havza genelindeki diğer örneklerle göre yüksektir, ancak sınır değeri aşmamaktadır. Havzadaki Mn konsantrasyonu değerlendirildiğinde Sandıklı, Karacaören ve Koçhisar mevkiilerinde mangan konsantrasyonunun yüksek olması, Ekinova mevkiinde selenyum konsantrasyon oranının yüksek olması suların dış kökenli kirleticiler tarafından kirlendiğini ortaya koymaktadır. Havza genelinde Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, Sb ve Zn ağır metal konsantrasyonlarının önemli artışlar göstermediği sadece noktasal kirlenmelerin gözlemlendiği belirlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- AİÇDR, Gürman, Y., Kantarcı, T., 2008. Afyonkarahisar İli Çevre Durum Raporu, Afyonkarahisar Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, Afyonkarahisar.
- AİÇHB, 2006. Afyon İli Çevre Hizmetleri Birliği, Afyonkarahisar Katı Atık Bertaraf Tesisi, Afyonkarahisar.
- Aduybim, 2009. İnternet Sitesi. <http://www2.aduybim.org/cbswebs/acbs.asp>. Erişim Tarihi: 09.06.2009.
- Afşar, Ö.P., Korkmaz, A., 1988. Afyon-Sandıklı-Alamescit köyüne ait hidrojeolojik etüt raporu, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü, Isparta.
- Afşar, Ö.P., Korkmaz, A., 1989. Afyon-Sandıklı-Kızık köyüne ait hidrojeolojik etüd raporu, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü, Isparta.
- Afşin, M., 1991. Afyon Sandıklı Kuruçay ovası ve Hüdai kaplıcasının hidrojeoloji incelemesi, Ankara Üniversitesi, Doktora tezi, yayımlanmamış, 330s, Ankara.
- Afşin, M., Ünsal, N., Çelik, M., Syed, M. A., 1993. Sandıklı Kuruçay (Afyon) ovasının yeraltısuyu bilançosu. S.Ü. Müh.- Mim. Fak. Dergisi, 2, 10-18, Konya.
- Afşin, M., 1997. Hydrochemical evolution and water quality along the groundwater flow path in the Sandıklı plain, Afyon, Turkey, Environmental Geology, 31, 3/4, Springer-Verlag.
- Afşin, M., Canik, B., 1996. Hüdai (Sandıklı/Afyon) sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeoloji ve hidrokimyasal incelemesi ve kökensel yorumu, Yerbilimleri Dergisi (Geosound), (28):69-86.
- Afyonkarahisar Valiliği, 2009. <http://www.afyonkarahisar.gov.tr>. Erişim Tarihi: 09.06.2009.
- Afyon İl Özel İdaresi, 2010. Afyon İl Özel İdaresi 2010-2014 yılı Stratejik Planı. İnternet Sitesi.http://www.afyonozelidare.gov.tr/default_B0.aspx?content=146, Erişim Tarihi: 11.08.2010.
- AİR, 1996. Afyon İli Raporu, Bölgesel Gelişme Ve Yapısal Uyum Genel Müdürlüğü, Yayın nu: DPT: 2465.
- Akan, B., 2002. Jeotermal Sistemlerde Yapılan İzotop Hidrolojisi Çalışmaları: Afyon Ömer-Gecek Jeotermal Sistemi, Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, 21-25 Ekim 2002 Adana.
- Atamanalp, M., Yanık, T., 2001. Pestisitlerin Cyprinidae'lere Toksik Etkileri, E.Ü.Su Ürünleri Dergisi, Vol.18, pp.555-563.

- Ay, A., M., 1998. Sandıklı porfiroyidinin (Afyon güneybatısı) mineralojik, petrografik ve jeokimyasal özelliklerinin incelenmesi, İstanbul Üniversitesi, Yüksek İktisat Fakültesi, (yayımlanmamış), İstanbul.
- Ay, M., Aytar, N., Tolluoğlu, Ü. 1999. Orta Kambriyen yaşlı Sandıklı Porfiroyidi'nin petrografik ve jeokimyasal karakteristikleri. 52. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiriler Kitabı, 10-12 Mayıs 1999, 263-270: Ankara.
- Aytar, N., 1998. Sandıklı metamorfitlelerinin petrografik ve yapısal incelenmesi, İstanbul Üniversitesi, Yüksek İktisat Fakültesi, (yayımlanmamış), İstanbul.
- Bayazıt, M., 2003, Hidroloji. Birsen Yayınevi Ltd. Şti., 209s. İstanbul.
- Becker-Platen, J., D., Benda, L., Stefens, P., 1977. Litho und biostratigraphische Deutung radiometrischer Altersbestimmungen aus dem Jungtertiär der Türkei (Kanozoim und Braunkohlen der Türkei, 18) Geol. Jb. B. 25, 139-167, Hannover.
- Blumenthal, M., 1947. Geologie der taurusketten in hinterland Von Seydişehir und Beyşehir: Maden Tetkik ve Arama Enst., Ankara, Ser. D, no. 2, 108s. (yayımlanmamış).
- Bozkaya, Ö., Gürsu, S., Göncüoğlu, M.C., 2003. Very low-grade metamorphic events in the Precambrian-Mesozoic rocks units in inner west Anatolia (Sandıklı-Afyon region: preliminary mineralogical data). 56th Geological Congress of Turkey, Ankara, Turkey pp. 69-72.
- Bozkaya, Ö., Gürsu, S., Göncüoğlu, M.C., 2003. İç Batı Anadolu'da (Sandıklı-Afyon yöresi) Prekambriyen - Mesozoyik yaşlı birimlerin düşük dereceli metamorfizma evrelerine ilişkin mineralojik ön bulgular. 56. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, 14-20 Nisan 2003, 69-72, Ankara.
- Bozkaya, Ö., Gürsu, S., Göncüoğlu, M.C., 2004a. Diagenetic to very low grade metamorphic evolution of Precambrian - Mesozoic units in the Sandıklı area, Western Taurides, Turkey. 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology Proceedings, 15-18 April 2004, Thessaloniki-Greece, 1098-1001.
- Bozkaya, Ö., Gürsu, S., Göncüoğlu, M.C., 2004b. Textural and Mineralogical evidences for the Cadomian tectonothermal event in the western Central Taurides (Sandıklı-Afyon area), Turkey. Precambrian Research).
- Bozkurt, E. 2001. Neotectonics of Turkey - a synthesis. Geodinamica Acta, 14, 3-30.
- Bulutcu, C., 1975. Afyon-Sandıklı Hüdaî Kaplıcası hidrojeoloji etüdü, MTA Ents. Derleme Rapor No: 5696, Ankara.

- Cihan, M., Koçyiğit A., 2000. Neotectonic characteristics of Sandıklı (Afyon) graben. The Proceeding of Seismicity of Western Anatolia BADSEM 2000. 166–174.
- Cihan, M., Saraç, G., Gökçe, O., 2003. Insights into biaxial extensional tectonics: an example from the Sandıklı Graben, West Anatolia, Turkey, Geological Journal Geol. J. 38: 47–66.
- Clark, I. D. and Fritz, P., (1997), Environmental Isotopes in Hydrogeology, Lewis Publishers, 328 p. New York.
- Craig, H., 1961. Isotopic Variations in Meteoric Waters, Science, 133:1702-1703, La Jolla
- Çakmak, B., Yıldırım, M., 2008. Türkiye’de Tarımsal Sulama Yönetimi, Sorunlar ve Çözüm Önerileri, TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt I, 215-224, ISBN No: 978-9944-89-512-5, Ankara.
- Çakmakoglu, A., 1986. Çivril-Banaz-Sandıklı-Dinar Arasındaki Bölgenin Jeolojisi (K23-c1,c2,c3,c4d3; K24-d3,d4; L23-a2,a3,b1,b2,b3,b4; L24-a1,a2,a3,a4), MTA Rap. Derleme No: 8062, Ankara.
- Çeliker, C., 1988, Afyon-Sandıklı-Yavaşlar köyüne ait istikşafi hidrojeolojik etüd raporu, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü, Isparta.
- Çevreonline, 2009. İnternet Sitesi. <http://www.cevreonline.com/CevreKR/Tarimsal%20kirlilik.htm>. Erişim Tarihi: 07.09.2009.
- Çifter, C., Sayın, M., 2002, İzotopların Hidrolojide Kullanılması, Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, T.C Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, 21-25 Ekim 2002 Adana.
- Çobanoğlu, İ., Özpınar, Y., 2003. Sandıklı (Afyon) Tüflerinin Mühendislik Özellikleri Ve Beton Agregası Olarak Kullanım Olanaklarının İncelenmesi, Geosound Yerbilimleri Dergisi, Sayı 42, S. 205-222, Ç.Ü. Müh. - Mim. Fak. Yayını, Adana.
- Dean, W.T., Monod, O., Perinçek, D., 1981. Correlation of Cambrian and Ordovician Rocks in Southeastern Turkey: T.C. Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Dergisi, No:25, s.269-291, Ankara.
- Dean, W.T., Özgül, N., 1994. Cambrian rocks and faunas, Hüdai area, Taurus Mountains, southwestern Turkey. Bulletin de l’Royal des Sciences Naturalles de Belgique, Science de la Terre 64, 5-20.
- Deprem Dairesi Başkanlığı, 2010. <http://www.deprem.gov.tr/Sarbis/IstBilgi/ButunIst.aspx>. Erişim Tarihi: 01.11.2010

- Derman, A. S., Günay, Y., 1995. Environmental consideration of Hüdai, Çaltepe and Seydişehir formations in Hüdai area, IGCP Project 351-Early Paleozoic Evolution in NW Gondwana Excursion Guide Book, 14.
- Dilaver, T. A., Çifter C., Altay T., 2002. Türkiye'deki İçme ve Kullanma Sularının Radyoaktivite Yönünden Kalitesinin Belirlenmesi, Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, 21-25 Ekim 2002 Adana.
- DSİ, 1972, Sandıklı-Kızılören ve civarının hidrojeolojik etüdü, DSİ, 2. Bölge Müdürlüğü, İzmir.
- DSİ, 1994, Serban Projesi Planlama Raporu, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü, Isparta.
- DSİ, 1993, Taşoluk Projesi Planlama Raporu, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü, Isparta.
- DSİ, 1990, Afyon-Sandıklı Karacaören Göleti Planlama Raporu, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü, Isparta.
- DSİ, 1978, Sandıklı-Örenler Projesi Planlama Raporu, Rapor No: 0709, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü, Isparta.
- DSİ, 2007, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü arşivi, Isparta.
- DSİ, 2010, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü arşivi, Isparta.
- DSİ, 2010, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü arşivi, Isparta DSİ Genel Müdürlüğü, İnternet Sitesi. http://www.dsi.gov.tr/baraj/baraj_arama.cfm/ErişimTarihi:05.07.2009.
- Dumlu, O., Yalçın, H., T., Bozkurtoğlu, E., 2006. Yeraltısuyu jeolojisi ve hidroliği, ISBN: 975-04-0370-3, Literatür Yayınları, İstanbul.
- EA, 2002. The Microbiology of Drinking Water (2002) - Part 1 - Water Quality and Public Health, Methods for the Examination of Waters and Associated Materials, Enviroment Agency.
- EPA 2000 (Method 1656), Sularda Organik Klorlu ve Fosforlu Pestisitler Analizi.
- Ercan, T., Dinçel, A., Metin, S., Türkecan, A., Günay, E., 1978. Uşak yöresindeki Neojen havzalarının jeolojisi, Türkiye Jeol. Kur. Bült. 21, 2, 97-106.
- Ercan, T., 1986 Orta Anadolu'daki Senozoyik Volkanizması, MTA Dergisi, S.107, 119-141, Ankara.
- Erdoğan, B., Güngör, T., Özgül, N., 1997. Infracambrian rocks of the Afyon-Sandıklı region. Abstracts, Selçuk Üniversitesi 20. Yıl Jeoloji Sempozyumu, Konya/Turkey 128.

- Erdoğan, B., Güngör, T., Uchman, A., Özgül, N., 2000. Afyon-Sandıklı bölgesindeki Alt Kambriyen kayaları. 53. Türkiye Jeoloji Kurultayı bildiri özleri kitabı, 175-176, Ankara.
- Erdoğan, B., Uchman, A., Güngör, T., Özgül, N., 2004. Lithostratigraphy of the Lower Cambrian metaclastics and their age based on trace fossils in the Sandıklı region, southwestern Turkey. *Geobios*, 38, 346-360.
- Erguvanlı, K., Yüzer E., 1987. Yeraltı Suları Jeolojisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları 967: 324s. İstanbul.
- Eriksson, E., 1981. Aluminium in Groundwater Possible Solution Equilibria, *Nordic Hydrology*, 12, 1981, 43-50.
- Freze, R.A., Cherry J.A. (Çeviri:Kamil Kayabalı), 2003. Yeraltısuyu, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Gedik, İ., 1989. Batı Toroslar Kambriyeninde Hadimopanellid biyostatigrafisi. Kambriyende yeni bir biyostratigrafik zonlama. *TJK Bülteni*, C.32, S.67-68, Ankara.
- Gutnic, M., 1977. *Geologie du Taurus Pisidien su Nord d'Isparta (Turquie)*. Trav. Lab. Geol. Hist. Univ. Paris XI, 130p., Orsay.
- Gutnic, M., Monod, O., Poisson, A., Dumont, J. F., 1979. *Geology des Taurides Occidentales (Turquie)*, Soc. Geol. De France, Mem. No 137,109p.
- Gökçe, O., 1998. Neotectonics and the seismicity of the western margin of Sandıklı graben Yüksekli-sanstezi (yayımlanmamış), İstanbul Üniversitesi, Yüksekli-sanstezi, yayımlanmamış, İstanbul.
- Güngör, T., Akay, E., Arslan, A., 2004. Deformation of the Sandıklı porphyroids, TÜBİTAK YDABAG Proje TÜBİTAK YDABAG No. 102Y064, 2004: 1-39, Ankara.
- Güngör, T., 2006. Sandıklı (Afyonkarahisar) Bölgesinde Alt Kambriyen İstifinin Deformasyonu, 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildirileri, Ankara.
- Gürsu, S., 2002. İç Batı Anadolu (Afyon GB'sı) bölgesinde yüzeylenen Paleozoyik öncesi magmatik kayaların jeolojisi ve petrojenezi, Doktora Tezi, HÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s.203 (Yayımlanmamış).
- Gürsu,S., Kozlu, H., Göncüglü, M.C., Turhan, N., 2003. Orta Torosların Batı Kesimindeki Temel Kayaları ve Alt Paleozoyik Örtülerinin Korelasyonu, TPJD Bülteni, Cilt 15, Sayı 2, 129-153.
- Gürsu, S., Besbelli A., Güler, Ü., Özvatan, N., Yavuz, İ., İlter, C., Göncuoğlu, C., 2003a. Sandıklı (Afyon) Porfiroidlerinin Minerolojik Petrografik ve

- Petrojenez Özelliklerinin Belirlenmesi, MTA Raporu, M.T.A. Rap. No. 10685, Ankara.
- Gürsu, S., Göncüoğlu, M.C., Bayhan, H., 2003b. Sandıklı (Afyon GB'sı) bölgesinde yüzeylenen Prekambriyen yaşlı meta-felsik kayaçların petrojenezi ve NW Peri-Gondvana'daki Pan-Afrikan magmatizması ile ilişkisi. 56. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri özleri Kitabı, 14-20 Nisan 2003, 66-68, Ankara.
- Gürsu, S., Göncüoğlu, M.C., Bayhan, H., 2003c. KB Gondvana'da izlenen yay gerisi volkanizmaya bir örnek: Sandıklı (Afyon GB'ss) yöresinde yüzeylenen Erken Kambriyen yaşlı mafik volkanik kayaçların petrolojisi ve petrojenezi. Süleyman Demirel Üniversitesi 20. yıl sempozyumu, 14-18 Mayıs 2003, 107-110, Isparta.
- Gürsu, S., Göncüoğlu, M.C., Bayhan, H., 2004. Geology and geochemistry of the pre-Early Cambrian rocks in Sandıklı area: implications for the Pan-African evolution in NW Gondwanaland, Gondwana Research, 7, 923-935.
- Gürsu, S., Göncüoğlu, M., C., 2005. Batı Torosların (Sandıklı GB'si, Afyon) Geç Neoproterozoyik ve Erken Paleozoyik Yaşlı Birimlerinin Jeolojisi ve Petrografisi, MTA Dergisi 130, 29-55, Ankara.
- Gürsu, S., Göncüoğlu, M.C., 2006. Petrogenesis and tectonic setting of Cadomian felsic igneous rocks, Sandıklı area of the western Taurides, Turkey. International Journal of Earth Science.
- Hamut, M.N., Burçak, M., 1995. Afyon-Sandıklı Hüdai Kaplıcası Sıcaksu Sondajları (AFS-1 ve AFS-2) Kuyu Bitirme Raporu, M.T.A. Proje No. 94/93, Ankara.
- Hamut, M.N., Şengüler, İ., 2001. Afyon Sandıklı (Hüdai) Jeotermal Sahası Koruma Alanları Raporu, M.T.A. Rap. No. 10458, Ankara.
- Hamut, M.N., Şengüler, İ., Uygur, N. 2001. Afyon-Sandıklı (Hüdai Kaplıcası) AFS-3 AFS-4 AFS-5 AFS-6 Jeotermal Sondajları Kuyu Bitirme Raporu, M.T.A. Rap. No. 10725, Ankara.
- Karamanderesi, İ. H., 2004. Sandıklı (AFYON) SANJET A. Ş. sıcak su arama etüt raporu. JEM-2004-1. (SANJET A. Ş.).
- Karamanderesi, İ. H., 2004. Sandıklı SANJET A. Ş. (AFS-11) nolu sondaj ve Kuyu jeolojisi bitirme raporu. JEM-2004-02. (SANJET A.Ş.).
- Karamanderesi, İ. H., 2005. Sandıklı SANJET A. Ş. (AFS-12) nolu sondaj ve Kuyu jeolojisi bitirme raporu. JEM-2005-01. (SANJET A.Ş.).
- Karamanderesi, İ. H., 2005. Sandıklı SANJET A. Ş. (AFS-13) nolu sondaj ve Kuyu jeolojisi bitirme raporu. JEM-2005-02. (SANJET A.Ş.).


- Karamanderesi, İ. H., 2005. Sandıklı SANJET A. Ş. (AFS-14) nolu sondaj ve Kuyu jeolojisi bitirme raporu. JEM-2005-02. (SANJET A.Ş.).
- Karamanderesi, İ. H., 2005. Sandıklı SANJET A. Ş. (AFS-15) nolu sondaj ve Kuyu jeolojisi bitirme raporu. JEM-2005-02. (SANJET A.Ş.).
- Karamanderesi, İ. H., 2005. Afyonkarahisar Jeotermal Sahalarının Jeolojik Ve Minerolojik Evrimi, Termal ve Maden Suları Konferansı, 24-25 Nisan 2008, Afyon.
- Kılıç, İ., Çeliker, C., 1988, Afyon-Sandıklı-Kargın köyüne ait istikşafi hidrojeolojik etüd raporu, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü, Isparta.
- Kayalı, H., 1993. Sandıklı Ovası ve yakın çevresinde arazi kullanılışı, İstanbul Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, yayımlanmamış, İstanbul.
- Koçyiğit, A., 1984. Güneybatı Türkiye ve Yakın Dolayında Levha İçi Yeni Tektonik Gelişim, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 27, 1-16.
- Koçyiğit, A., Cihan, M.; Özacar, A., 2001. Dombayova ve Sandıklı (Afyon) grabenlerinin depremselliği ve kenar faylarının, kinematik analizi, TÜBİTAK YDABÇAG Proje No. 199Y007, 2001: 1-57, Ankara.
- Kozlu, H., Göncüoğlu, M.C. 1995. İnfracambrian Hüdai area in Sandıklı. IGCP Project 351- Early Paleozoic Evolution in NW Gondwana Excursion Guide Book, 15-16.
- Nazik, L., Özel, E., Mengi, H., Aksoy, B., 1996. Kurtini Mağarası (Sorkun-Sandıklı) ön araştırma raporu. MTA Raporu, Derleme No: 9897, Ankara.
- Marotz, G., 1968, Technische Grundlagen einer Wasserwirtschaft im natürlichen Untergrund.-Schriftenreihe des KWK, H. 18, 228p, 95 Abb., 14 Tab., 1 Anlage; Hamburg (Wasser u. Bauverlag).
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İnternet Sitesi. <http://www.meteoroloji.gov.tr/2006/kurumsal/kurumsal-istasyonlar>. Erişim Tarihi: 10.04.2006.
- MTA, 2010. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, İnternet Sitesi. http://www.mta.gov.tr/v1.0/turkiye_maden/il_maden/pdf_2010/afyon.pdf Erişim Tarihi: 10.07.2010.
- MTA Genel Müdürlüğü, 2010. MTA İnternet Sitesi. http://www.mta.gov.tr/v1.0/turkiye_maden/maden_potansiyel_2010/Afyon_Madenler.pdf. Erişim Tarih: 27.05.2010.
- Müller, G., 1955. Afyon vilayetindeki termal kaynaklar. M.T.A. Rap. No. 2220 (yayımlanmamış), Ankara.

- Olson, R.J., Hensler, R.F., Attoe, O.J., Witzel, S.A., Peterson, L.A., 1970. Fertilizer nitrogen and crop rotation in relation to movement of nitrate nitrogen through soil profiles. Soil Science Society of America Proceedings 34: 448–452.
- Öngür, T., 1973. Sandıklı (Afyon) jeotermal araştırma bölgesine ilişkin jeolojik durum ve jeotermal enerji olanakları. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No;5520, Ankara, (yayımlanmamış).
- Özgül, N., Bölükbaşı, S., Alkan, H., Öztaş, Y., 1991. Göller Bölgesi ve Isparta'nın Jeolojisi ve Stratigrafisi; TPAO Arama Grubu, Rapor No:3028 (yayımlanmamış).
- Özpınar, Y., 1998. Sandıklı (Afyon) Volkanitlerinin Jeolojik, Petrografik ve Petrokimyasal İncelenmesi ve Tras olarak Değerlendirilmesi, AR-GE Proje No: 97, MHF.006.Jeo.002-3, 38 s, Denizli.
- Özpınar, Y., Alçiçek, C., Koralay, T., 1998. Burdur, Uşak ve Sandıklı (Afyon) volkanitlerinin (Tüf, Tüfit ve Aglomera) jeolojik, petrografik ve petrokimyasal özelliklerinin incelenmesi ve bunların tras olarak değerlendirilebilirliği, Cumhuriyetin 75. Yıl dönümü Yer Bilimleri ve Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı, 160-161, Ankara.
- Özpınar, Y., Bozkurt R., Çobanoğlu, İ., Küçük, B., 1998. Sandıklı Zeolitik Tüflerinin Petrografik ve Petrokimyasal incelenmesi ve Bunların Teknolojik Açıdan Değerlendirilmesi, I. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, "BAKSEM'99", Bildiriler Kitabı, 277-289, İzmir.
- Özpınar, Y., Bozkurt R., Çobanoğlu, İ., Küçük, B., 1999. Uşak ve Sandıklı Civarındaki "Küfeki Taşlarının (Aglomera ve Tüf) Petrografik ve Petrokimyasal İncelenmesi, Bunların Yapıtışı ve Agrega Olarak Değerlendirilmesi, 2.Ulusal Kırmataş Sempozyumu'99, İstanbul-1999, ISBN B.16.0.KGM.0.63.00.03/606.
- Özpınar, Y., Çobanoğlu, İ., Bozkurt, R., 2001. Petrographical, Petrochemical And Technological Investigation Of Zeolitic Tuffs In Sandıklı Region (Western Anatolia), Turkey, Forth International Turkish Geology Symposium, 24-28 September, Çukurova University, Adana/Turkey.
- Özpınar, Y., Çobanoğlu, İ., Bozkurt, R., 2002 (a). Petrographical And Petrochemical Investigation Of Sandıklı Chabazitic And Phillipsitic Tuffs And Their Usage As Building Stone And Lightweight Aggregate Concrete (Western Anatolia, In Turkey), Third Mediterranean Clay Meeting Jarusalem, 77, Israel.
- Özpınar, Y., Çobanoğlu, İ., Bozkurt, R., 2002 (b). Sandıklı zeolitik tüflerin petrografik petrokimyasal ve teknolojik özelliklerin incelenmesi, TÜBİTAK YDABÇAG Proje No. 198Y102, 2002: 1-268, Ankara.

- Öztaş, Y., 1989. Homa-Akdağ yöresi, Sandıklı-Şuhut kuzeylerinin jeolojisi ve petrol olanakları, TPAO Arşivi, Rapor NO: 2584, Ankara.
- Öztürk A., 1981. Homa-Akdağ (Denizli) yöresinin stratigrafisi, TJK, Bült., C24,S1, 75-84.
- Öztürk A., 1981. Homa-Dinar yöresi Afiyolitli Melanjlar ve Genç Otokton Birimler, S.Ü, Fen Fakültesi Dergisi, 1,47-66.
- Parejas. E., 1941. Geological report of Sandıklı, Dinar, Burdur, Isparta and Eğridir area: MTA Rep., 1390 (unpublished), Ankara.
- Parejas, E. 1942. Sandıklı, Dinar, Burdur, Isparta ve Eğridir bölgesinde yapılan jeolojik löveler hak. rapor. M.T.A. Rap. No. 1390 (yayımlanmamış), Ankara.
- Piper, A.M. 1944. A graphic procedure in the ge-chemical interpretation of water-analyses, Trans, Amer, Geophys, Union.
- Raj K. Shrestha, R.K., Cooperband, L.R. and MacGuidwin, A.E., 2010. Strategies to Reduce Nitrate Leaching into Groundwater in Potato Grown in Sandy Soils: Case Study from North Central USA, Am. J. Pot Res 87:229–244.
- Ronner, F. 1956. Hüdaihamamı termal kaynaklarına ve kaplıcalarına (Sandıklı-Afyonkarahisar) dair muvakkat rapor. M.T.A. Rapor No. 2493 (yayımlanmamış), Ankara.
- Ronner, F., 1962. Sandıklı ovası çöküntüsü -Genç tektonik ve volkanik durumlar, MTA Dergisi, Sayı 59 69-89, Ankara.
- Sayın, M., Eyüpoğlu, S.Ö., 2005. Türkiyedeki Yağışların Kararlı İzotop İçeriklerini Kullanarak Yerel Meteorik Doğruların Belirlenmesi, II. Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, 26-30 Eylül 2005, İzmir.
- Schoeller, H., 1962. Les eaux souterraines. Mason et Cie.
- Şahinci, A., 1991. Doğal Suların Jeokimyası, Baskı : Reform Matbaası, 540s. İzmir.
- Şamilgil, E., 1964. Hüdaihamamı (Sandıklı) hakkında jeolojik ve hidrojeolojik rapor. Rapor No: 3598 (yayımlanmamış), Ankara.
- Şengüler, İ., Sarıgöz, H., Hamut, M. N., 2001. Sandıklı'nın (Afyon) Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Uygulamalar, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, 12-13 Ekim 2001, Kayseri.
- Şentürk, N., 1983. Afyon-Sandıklı Hüdai Kaplıcası koruma alanları etüdü, MTA Enst. Derleme Rap. No.39640.Ankara.

- Su Hijyeni, 2010. İnternet sitesi. http://www.suhijyeni.com/Suda-Koli-Basili-var-demek-ne-anlama-gelir_3.html. Erişim Tarihi: 01.11.2010.
- Tanner, C.B., Weis G.G., Curwen, D., 1982. Russet Burbank rooting in sandy soils with pans following deep plowing. American Potato Journal 59: 107–112.
- Topkaya, M., 1956. Sandıklı Ovası Hidrojeolojik Etüdü, Rapor No: 0701/1-HJ, Ankara.
- Tuzcu, G., 1974. Küçük Sincanlı Ovası hidrojeolojik etüt raporu, TC, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- TSE ISO 9308-1, 2004. Su kalitesi - Escherichia coli ve koliform bakterilerin tespiti ve sayımı - Bölüm 1: Membranla süzme yöntemi.
- TS 266, 2005. Türk Standardı (TSE), Sular - İnsanî Tüketim Amaçlı Sular, ICS 13.060.20, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3790, 1998. Su Kalitesi-Alkalinik Tayini Bölüm 1: Toplam ve Bileşik Alkalanitenin Tayini, EN ISO 9963-1.
- TS 4164, 1998. Su Kalitesi-Klorür Tayini-Kromat İndikatörü Yanında Gümüş Nitrat İle Titrasyon (Mohr Metodu), EN ISO 9297.
- TS 4474, 1998. Su Kalitesi-Kalsiyum ve Magnezyum Toplamının Tayini-Edta Titrimetrik Metot, EN ISO 6059.
- TS 4530, 1985. Suyun Analiz Metotları- Lityum, Sodyum, Potasyum Tayini- Alev Fotometrik, Atomik Absorpsiyon Spektrofotometrik ve Kolorimetrik Analiz Metotları.
- TS 5095, 1987. Suyun Analiz Metotları-Sülfat Tayini-Gravimetrik, Türbitimetrik ve Titrimetrik Metotlar.
- Ulutürk, Y., 1998. Afyon ili ve Civarının Jeotermal Potansiyeli, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Semineri, Isparta.
- Uygan, D. ve Çetin, Y., 2004. Bor'un Tarımsal ve Çevresel Etkileri: Seydisuyu Su Toplama Havzası, II. Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül 2004 Eskişehir.
- Wang, S., Mulligan, C.N., 2006. Natural attenuation processes for remediation of arsenic contaminated soils and groundwater. Journal of Hazardous Materials, B138, 459-470.
- WHO, 1970. Drinking Water Standards, In Engineering Geology and Environmental Approach (Rahn, P., 1996), Second Edition, 256-257.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	: Fatma AKSEVER	
Doğum Yeri ve Yılı	: Afyon / 1980	
Medeni Hali	: Evli	
Yabancı Dili	: İngilizce	
Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)		
Lise	: 19 Mayıs Lisesi – Kocaeli (1994-1997)	
Lisans	: Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü – Isparta (1997-2001)	
Yüksek Lisans	: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı - Isparta (2002-2005)	
Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl	: (2002-) Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı - Isparta	

Yayımlar:

SCI, SSCI ve AHCI dışındaki indeks ve özetler tarafından taranan dergilerde yayımlanan teknik not, editöre mektup, tartışma, vaka takdimi ve özet türünden yayımlar dışındaki makale

1. **Seyman F.**, Davraz A., 2008, Sandıklı (Afyonkarahisar) Havzası Yeraltısuyu Bilançosu, Ekoloji ve Su Tasarrufu Dergisi, No: 5, 82-86, Baku

SCI, SSCI ve AHCI tarafından taranan dergilerde yayımlanan teknik not, editöre mektup, tartışma, vaka takdimi ve özet türünden yayınlar dışındaki makale

1. Davraz, A., Karaguzel R., Soyaslan I., Sener E., **Seyman F.**, Sener S., 2008. Hydrogeology of Karst Aquifer Systems in SW Turkey and an Assessment of Water Quality and Contamination Problems, Environmental Geology, DOI: 10.1007/s00254-008-1577-5.

Ulusal toplantıda sunularak tam metin olarak yayımlanan bildiri

1. **Seyman, F.**, Karagüzel, R., 2006. Senirkent-Uluborlu (Isparta) Havzası Su Kalitesi ve Kirliliği, Mühendislik Jeolojisinde Çağdaş Uygulamalar Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 25-27 Mayıs 2006, ISBN: 975-6992-14-X, S:337-345, Denizli
2. Karagüzel, R., Davraz, A., Soyaslan, İ, **Seyman, F.**, Şener, Ş., Şener, E., 2006. Antalya İçme Suyu Havzalarının Kirlilik Tehdidi Açısından Değerlendirilmesi, Antalya İçme Suyu Ve Sorunları Sempozyumu, Antalya Kent Konseyi-Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 15-16 Haziran 2006,S: 113-120, Antalya
3. **Seyman, F.**, 2007. Antalya Traverten Platosundaki Kirletici Unsurlar ve Etkileri, 15. Yıl Mühendislik Mimarlık Sempozyumu, 14-16 Kasım 2007, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Isparta

Ulusal toplantıda sunularak özet metin olarak yayımlanan bildiri

1. Tay, Ş., Şener, E., **Seyman, F.**, Ayday C., 2003. " Gelendost - Yalvaç (Isparta) Çevresinin Jeolojik Ve Tektonik Özelliklerinin Uzaktan Algılama Yöntemleri Kullanılarak Belirlenmesi", Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 20. Yıl Sempozyumu, Bildiri Özleri Kitabı, S.271, ISPARTA (Poster)
2. **Seyman, F.**, Davraz, A., 2008. Sandıklı (Afyonkarahisar) Havzası Yeraltısuyu Bilançosu, SES'2008, Su Enerji Sağlık Sempozyumu, Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Aksaray

3. **(Seyman) Aksever, F.**, Davraz, A., Özgül, E. B., Karagüzel R., Sandıklı (Afyonkarahisar) Havzasında Yeraltısuyu Kullanımının Getirdiği Sorunlar, 63. Türkiye Jeoloji Kurultayı. 5-9 Nisan 2010, Ankara
4. **Aksever, F.**, Davraz, A., Karagüzel, R., 2010. Sandıklı (Afyonkarahisar) Havzası Mevsimsel Nitrat Kirliliği, 45. Yıl Jeoloji Sempozyumu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Trabzon

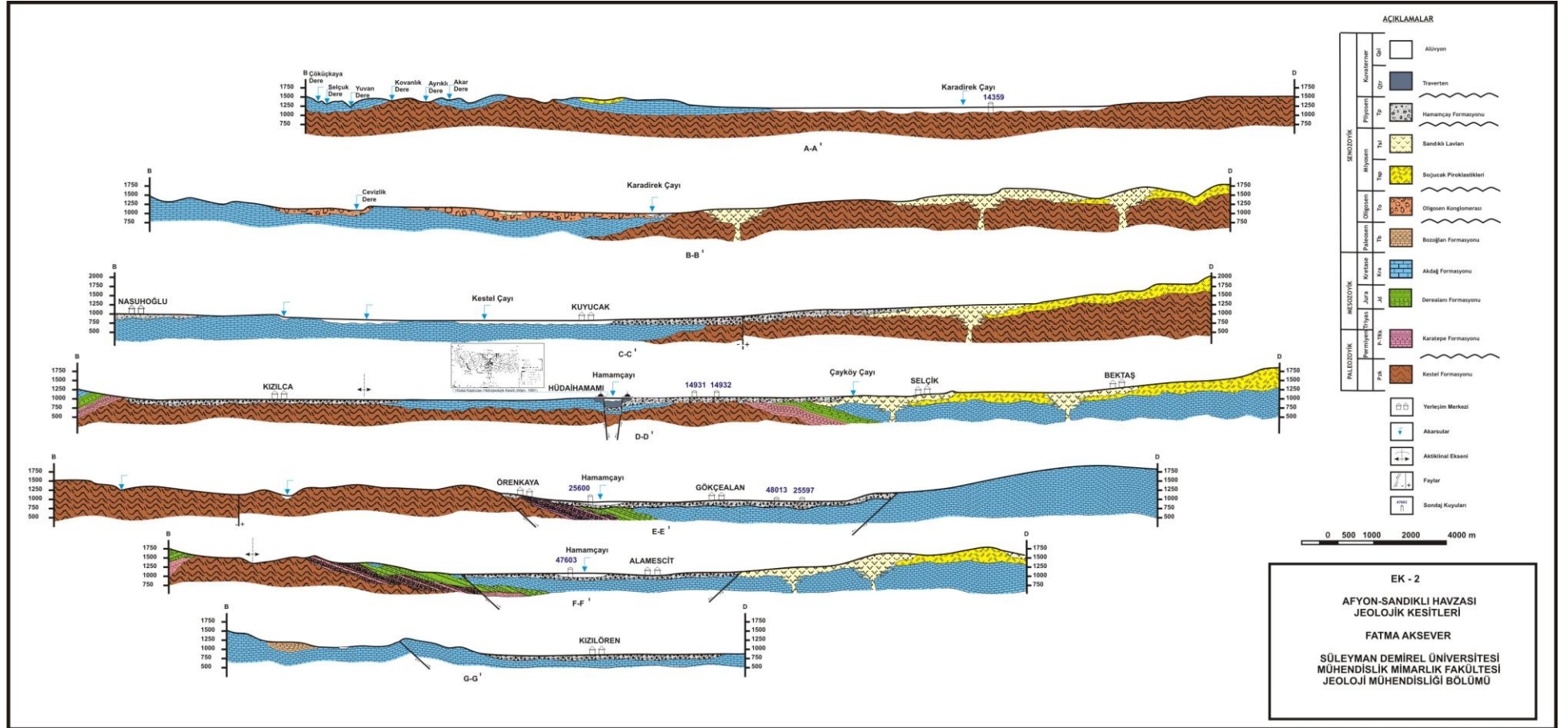
Uluslararası toplantıda sunularak tam metin olarak yayımlanan bildiri

1. **Seyman, F.**, 2006. Senirkent-Uluborlu (Türkiye) Havzası Alüvyon Akifer Yeraltısuyu Potansiyeli, The III. International Scientific And Practical Conference, Use Of The Water Resources And Its Integretional Management In Globalization Processes, 6-7 July 2006, Baku
2. **Seyman F.**, Davraz A., 2009, Hydrogeological Investigations of Sandıklı Basin (Afyonkarahisar)- Preliminary Studies, "Balkan, Kafkas ve Türk Devletleri Uluslararası Mühendislik Mimarlık Sempozyumu" 22-24 Ekim 2009, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Isparta

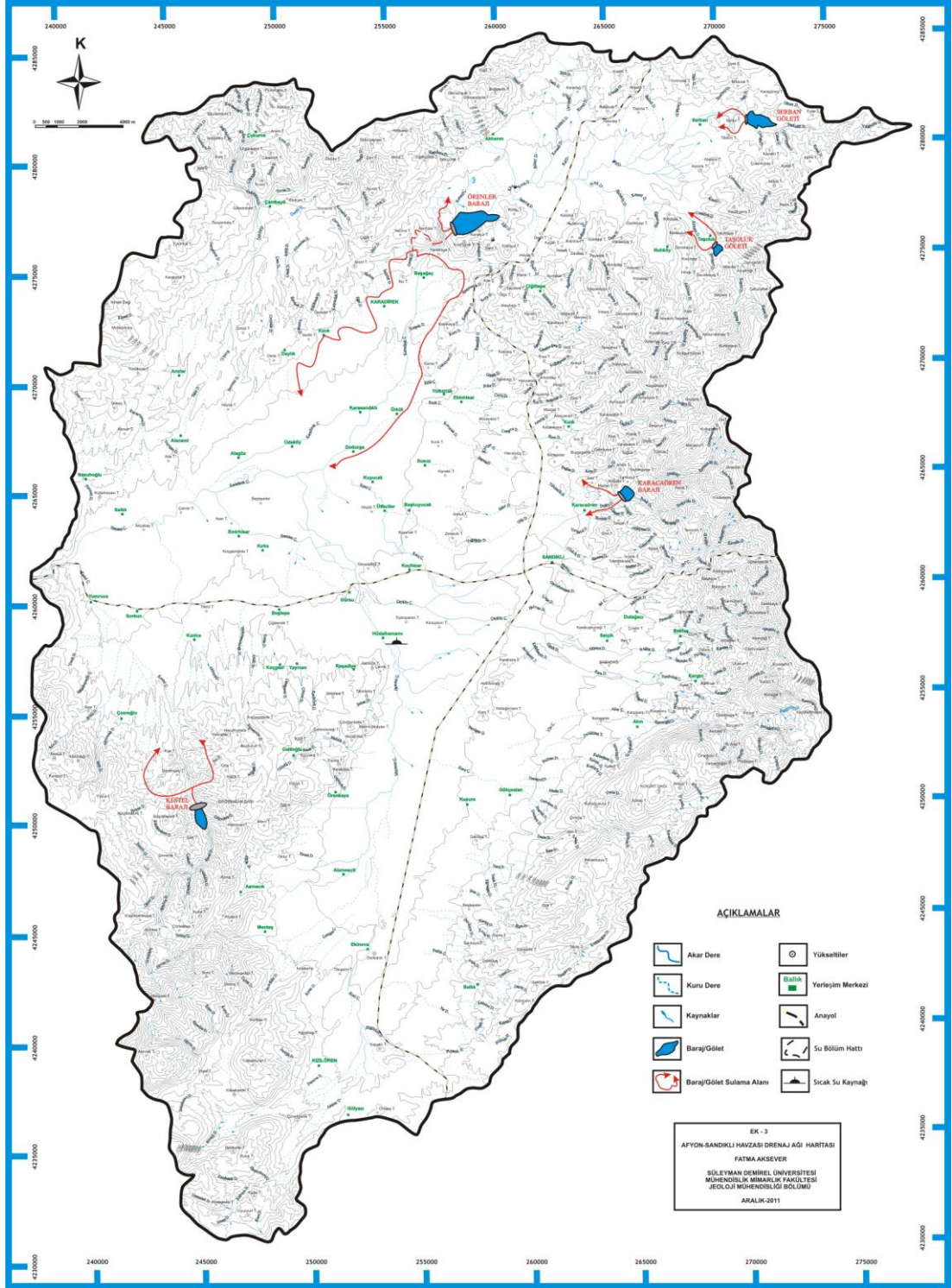
Uluslararası toplantıda sunularak özet metin olarak yayımlanan bildiri

1. **Seyman, F.**, Karagüzel, R., 2005. Groundwater Potential of Senirkent - Uluborlu (Isparta-Turkey) Basin, International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region (IESCA), 04-07 October, İzmir, Turkey

EK-2 : İnceleme Alanı Jeolojik Kesitleri



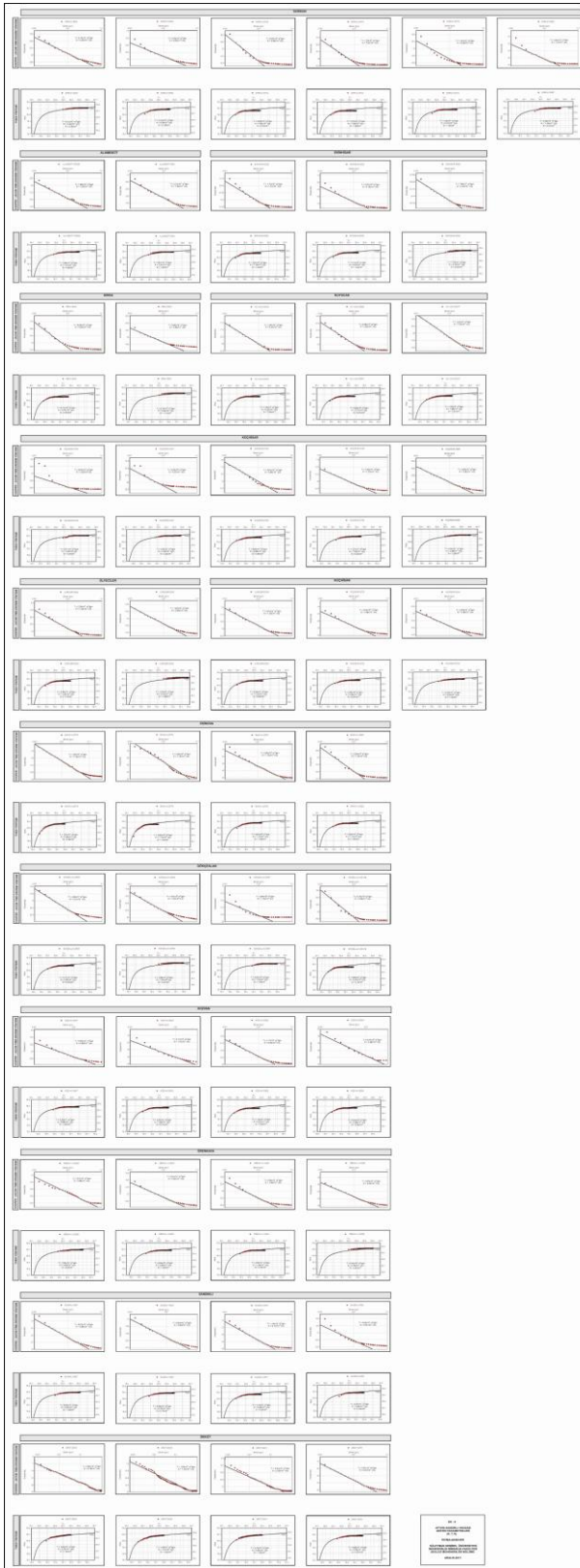
EK-3 : İnceleme Alanı Drenaj Ağı Haritası



EK 5 : İnceleme Alanı Sondaj Logları



EK 6 : İnceleme Alanı Akifer Parametreleri (K,T,S)



EK 7 : İnceleme Alanı Yeraltısıyu Seviye Haritası (Kasım 2009)

