KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

SAPANCA (SAKARYA) GÖL HAVZASININ HİDROJEOLOJİ İNCELEMESİ VE KAVRAMSAL YERALTI SUYU MODELLEMESİ

Özge Can GÜNDÜZ

KOCAELİ 2015

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

SAPANCA (SAKARYA) GÖL HAVZASININ HİDROJEOLOJİ İNCELEMESİ VE KAVRAMSAL YERALTI SUYU MODELLEMESİ

ÖZGE CAN GÜNDÜZ

Prof. Dr. İrfanYOLCUBAL
Danışman, Kocaeli Üniv. .....

Prof.Dr. Ö. Feyzi GÜRER
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. .....

Prof.Dr. Alper BABA
Jüri Üyesi, İzmir YTE .....

Prof.Dr. Celalettin ŞİMŞEK
Jüri Üyesi, Dokuz Eylül Üniv. .....

Yrd.Doç.Dr. Özkan CORUK
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 08.09.2015

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Doktora tezi olarak sunulan bu çalışma, TÜBİTAK 107G013 numaralı proje ile Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenen 2010/088 (Doktora tezi destekleme) ve 2013/32 HDP (Hızlı destek projesi) projeleri kapsamında Kocaeli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Analitik Jeokimya ve Hidrojeoloji Laboratuvar donanımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında ve yürütülmesinde beni yönlendiren ve destekleyen, saha ve laboratuvar çalışmalarında gerekli olanakları sağlayan, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli hocam Sayın Prof. Dr. İrfan YOLCUBAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Değerli görüş ve önerileriyle tezin çeşitli aşamalarındaki katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Alper BABA'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tezin jeoloji bölümü için değerli görüşleri ile katkı sağlayan ayrıca saha çalışmalarına da bizzat katılarak destek olan Sayın Prof. Dr. Ö. Feyzi GÜRER'e ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Ercan SANĞU'ya en içten teşekkürlerimi sunarım. Gerekli sayısal haritaların ve çizimlerin oluşturulması aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve çalışmalarımda bana her zaman destek olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Ercan SANĞU'ya ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Tezin saha çalışmaları için gerekli lojistiğin sağlanması, kaynak ve kuyu yerlerinin tespiti, periyodik ölçüm ve örneklemenin yapılması, verilerin kurumdan sağlanması aşamasında yardımlarını esirgemeyerek büyük özveriyle çalışmaya destek sağlayan Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'ne ve Sapanca Şube Müdürü Sayın Alper TONBUL'a, kurum çalışanları Sayın Cemil ŞAHİN'e, Sayın Mehmet ÇETİN'e, Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü ve Kartepe Şube Müdürü Sayın Kemal TİMUR'a, kurum çalışanları Sayın Hikmet YILMAZER ile Hasan OKUMUŞ'a, Maşukiye Tarım Kalkınma Kooperatifi'ne ait kuyuların ölçümü esnasında yardımcı olan Kooperatif Başkan Yardımcısı Sayın Kemal SOYLU'ya içten teşekkürlerimi sunarım.

Kurum olarak Kocaeli Meteoroloji İstasyon Müdürlüğü'ne, Sakarya ve Eskişehir Devlet Su İşlerine teşekkür ederim.

Çalışmanın başlangıç aşamasında saha ve laboratuvar çalışmalarına eşlik eden arkadaşım Yrd. Doç. Dr. N. Hakan AKYOL'a, o dönem lisans öğrencisi olan Jeoloji Yüksek Mühendisi Mutlu ÖZKAN'a, Jeoloji Mühendisi Neslihan KURTULUŞ'a, Jeoloji Mühendisi Burak MAZMAN'a, göl çalışmaları esnasında seepage metrelerin yerleştirilmesi ve periyodik ölçümlerin yapılması aşamasında büyük bir özveri ile çalışan Jeoloji Mühendisi Burak KAÇAKÇI'ya ve lisans öğrencisi Halil İbrahim TOK'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca tez aşamasında bana moral veren ve her daim destek olan arkadaşım Jeoloji Yüksek Mühendisi Ayda DOĞRUL DEMİRAY'a çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca en büyük destekçim olan beni bugünlere kadar büyük fedakârlık ve özveri ile büyüten canım annem Seliha ŞENTÜRK'e, çalışmam boyunca en büyük desteği sağlayan sevgili eşim Tuna GÜNDÜZ'e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım. 2014 Eylül ayı içinde kaybettiğim sevgili babamı saygı ve rahmetle anıyorum.

Haziran - 2015 Özge Can GÜNDÜZ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xii
ÖZET xiii
ABSTRACT xiv
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 3
1.1. Çalışma Sahasının Konumu 3
1.2. Jeomorfoloji 5
1.3. İklim ve Bitki Örtüsü 9
1.4. Önceki Çalışmalar 12
2. MATERYAL VE METOT 25
2.1. Jeoloji 25
2.2. Hidroloji 26
2.3. Hidrojeoloji 27
2.4. Sapanca Gölü'nde Seepage Metre (Sızıntı Ölçer) Çalışmaları 34
2.5. Hidrojeokimya 40
3. BULGULAR 46
3.1. Genel Jeoloji 46
3.2. Stratigrafi 49
3.2.1. Mesozoyik 49
3.2.1.1. Maşukiye grubu 49
3.2.1.2. Sapanca kompleksi 53
3.2.2. Senozoyik 54
3.2.2.1. Akveren formasyonu 54
3.2.2.2. Yığılca formasyonu 55
3.2.2.3. Çaycuma formasyonu 55
3.2.2.4. Örencik formasyonu 56
3.2.2.5. Güncel çökeller 57
3.3. Tektonizma 58
3.4. Hidroloji 60
3.4.1. Sapanca gölü 60
3.4.2. Akarsu 63
3.4.3. Sapanca gölü su bütçesi 64
3.4.4. Hidrolojik bütçe elemanları 69
3.5. Hidrojeoloji 72
3.5.1. Karst akifer sistemi 74
3.5.2. Alüvyal akifer sistemi 79
3.5.3. Alüvyal akifer ve göl arasındaki hidrojeolojik ilişki 90
3.6. Hidrojeokimya 92
3.6.1. Karstik akifer hidrojeokimyası 92

3.6.2. Alüvyal akifer hidrojeokimyası 106
3.6.2.1. Sulama suyu kalitesi 130
3.6.3. Göl ve göl taban (gözenek) suyu kimyası 134
3.6.4. Akifer sistemleri ile göl arasındaki hidrojeokimyasal ilişki 140
3.7. İzotop Hidrolojisi 142
3.7.1. İzotop verilerinin değerlendirilmesi 145
3.7.1.1. Oksijen-18 ve döteryum analizi 145
3.7.1.2. Trityum analizleri 150
3.8. Sapanca Havzası Kavramsal Modeli 156
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 161
KAYNAKLAR 169
EKLER 179
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER 208
ÖZGEÇMİŞ 209

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası 3
Şekil 1.2. Sapanca Havzası ve civarını gösterir ALOS uydu görüntüsü 4
Şekil 1.3. Sapanca Havzası ve civarının morfotektonik özellikleri.....5
Şekil 1.4. Sapanca Ovası birikinti (alüvyal) yelpazelerinin birleşerek oluşturdukları piedmont ovaları 8
Şekil 1.5. Sapanca Gölü kıyılarının morfolojik özellikleri 8
Şekil 1.6. (a) Sadeleştirilmiş batimetri haritası ve Sapanca Gölü'nün taban morfolojisi. (b) Batimetrik harita kullanılarak ortaya çıkarılan faylar. AS: Arifiye Kesimi. TS: Tepetarla Kesimi 9
Şekil 1.7. Sapanca Meteoroloji İstasyonu'na ait ortalama sıcaklık (ºC) değerleri-(1970-2007) 11
Şekil 1.8. Sapanca Meteoroloji İstasyonu'na ait ortalama yağış (mm) değerleri-(1970-2007) 11
Şekil 2.1. Sapanca Havzası'nın güneyindeki fayların tespiti ve geometrik özelliklerinin belirlenmesi.....26
Şekil 2.2. Sapanca Havzası'nın güneyindeki ormanlık alan içinde gerçekleştirilen arazi çalışmalarından örnekler.....28
Şekil 2.3. Maşukiye bölgesindeki kaynaklardan ve maslaklarından görünüm 29
Şekil 2.4. Kurtköy-Kırkpınar bölgesindeki kaynaklardan ve maslaklarından görünüm.....30
Şekil 2.5. Sapanca bölgesindeki kaynaklardan ve maslaklarından görünüm 31
Şekil 2.6. Sapanca Ovası sondaj kuyularında yapılan su seviye ölçümleri.....32
Şekil 2.7. Sapanca Havzası içinde kaynak, kuyu ve göl tabanında gözlenen yeraltı suyu çıkış lokasyonlarını gösterir ALOS uydu görüntüsü.....33
Şekil 2.8. Sapanca Gölü'nde güney kıyı hattı üzerinde yeraltı suyu boşalımlarını belirleme çalışmaları 34
Şekil 2.9. Sapanca Gölü güney kıyısı boyunca alüvyondan göle olan yeraltı suyu boşalımların tespit edildiği lokasyonlar ile seepage (sızıntı) metrelerin yerleştirildiği alanlar.....36
Şekil 2.10. Seepage metre yapımı için kullanılan polietilen ve çelik variller 37
Şekil 2.11. Seepage (sızıntı) metrenin göl tabanındaki konumu ile düzenek ve bağlantılarını gösterir şematik görüntü 38
Şekil 2.12. Maşukiye-Kırkpınar arasındaki seepage metrelerin yerleştirilmesine uygun olmayan sazlık kamışlık alanlar 38
Şekil 2.13. Kırkpınar-Sapanca arasındaki seepage metrelerin yerleştirilmesi için uygun olan kıyı alanları.....39

Şekil 2.14. Sapanca Gölü seepage (sızıntı) metre çalışmaları a) Arazide seepage metrenin montaj aşaması, b) Seepage metrenin göle yerleştirilmesi, c) Seepage metreye numune şişesinin montajı, d) Göl tabanından sızan su miktarının numune torbasından ölçümü 39
Şekil 2.15. Sapanca Havzası'nda a) 2014 (Nisan) yılında kuraklığın yaşandığı dönemde yapılan arazi çalışması, b) 2015 (Nisan) yılında gölün taşkın yaptığı dönemde yapılan arazi çalışması 40
Şekil 2.16. Sapanca Havzası'nda yeraltı suyu örneklemesi a) Kaynak suyu, b) Kuyu suyu, c) Göl suyu, d) Gözenek suyu, e) Sızıntı suyu 41
Şekil 2.17. Sapanca Gölü'nde 2014 yılında yaşanan kuraklığa bağlı gelişen yatay ve düşey yöndeki çekilmeler ile piyezometre ile sızıntı suyu örnekleme çalışmaları 41
Şekil 2.18. Piyezometrenin ve gözenek suyu örneklemesinin şematik görüntüsü 42
Şekil 2.19. Sığ göl tabanında gözenek suyu örneklemesi için tasarlanan piyezometreler ve çeşitli lokasyonlarda yapılan örnekleme çalışması 43
Şekil 2.20. Kocaeli Üniversiesi Analitik Jeokimya Laboratuvarı'nda element analizi yapılan Perkin Elmer Elan DRC-e ICP-MS ile Dionex-ICS-1100 iyon kromotografi cihazları 45
Şekil 3.1. Sapanca Havzası'nın Jeolojisi 48
Şekil 3.2. Çalışma alanının kuzey ve güney istifine ait genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesitler ile birimlerin korelasyonu 50
Şekil 3.3. Sultaniye Metamorfitleri a) Metakumtaşı, b) Fillat, c) Siyah Mermer, d) Mermerler üzerindeki foliasyon düzlemleri 51
Şekil 3.4. Keltepe Mermerleri'ne ait görünüm; a) Soğucak Yaylası, b) Maşukiye (Vadi Restaurant) 52
Şekil 3.5. Maşukiye-Kartepe yolu üzerinde, Keltepe Mermerleri'nin yüzeylerinde gelişmiş terra-rosalar 52
Şekil 3.6. Akçay Metamorfitleri'ne ait görünüm; a) Gri fillat, b) Serpantinit 54
Şekil 3.7. Sapanca Gölü'nün kuzeyinde Akveren Formasyonu'na ait a) Kireçtaşı ve b) Kireçtaşı ve marn seviyeleri 55
Şekil 3.8. Sapanca Gölü'nün kuzeyinde Çaycuma Formasyonu'na ait kumtaşlarından görünüm 56
Şekil 3.9. Çaycuma Formasyonu içinde bulunan ardalanmalı kumtaşı, kiltaşı abakalarından görünüm 56
Şekil 3.10. Sapanca Gölü'nün güney doğusunda yer alan Örencik Formasyonu'na ait görünüm; a) Konglomera, b) Konglomera-kumtaşı ardalanması 57
Şekil 3.11. Sapanca Havzası güney kesimdeki alüvyon ve alüvyal yelpazeden bir görünüm 58
Şekil 3.12. Kuzeybatı Türkiye'nin paleotektonik dönem haritası 59
Şekil 3.13. Türkiye ve yakın dolayının neotektonik haritası. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, KDAFZ: Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonu 60

Şekil 3.14. Sapanca Gölü yüzey suyu toplama havzası ve yükseklik haritası 61
Şekil 3.15. Sapanca Gölü'nün batimetrisi ve göl su kotu-hacim ilişkisi 62
Şekil 3.16. Göl bütçe hesabı için oluşturulan göl su kotu- göl yüzey alanı ve göl su kotu- göl su hacim ilişkisi 67
Şekil 3.17. Sapanca Gölü için yıllık su giriş ve çıkış oranları 67
Şekil 3.18. Sapanca Ovası'na ait yağış, potansiyel ve gerçek buharlaşma diyagramı 72
Şekil 3.19 Sapanca Havzası'nın Hidrojeoloji Haritası 73
Şekil 3.20. Soğucak Yaylası (1200 m) beslenim alanı üzerinde gelişen karstik yapılar a) Polye, b) Uvala, c) Dolin (sulu), d) Düden 75
Şekil 3.21. Kartepe Yaylası (~1500 m) beslenim alanı üzerinde gelişen karstik yapılar (polye, dolin vb) 75
Şekil 3.22. Soğucak Yaylası'nda bulunan Sazlı Dere ve Suyutan Düdeni (SD-1) 76
Şekil 3.23. Sapanca Havzası'nın güneyindeki kaynakların çıkış mekanizmalarına örnek a) Mermer birimlerdeki kırıktan boşalım-Dalarbatar Kaynağı b) Şist-mermer dokanağından boşalım-Şahinkaya Kaynağı c) Fay kontağından boşalım-Doksanbeş Kaynağı d) Karstik boşalım-Mağara Kaynağı 77
Şekil 3.24. Sapanca Havzası'nın güneyindeki kaynakların (Tablo 3.6) mevsimsel debi değişimleri 78
Şekil 3.25. Soğucak Kaynağı'nın (Ky-17, 1135 m) mevsimsel debi değişimleri a) kurak (Eylül 2009) dönem, b) yağışlı (Nisan 2010) dönem 78
Şekil 3.26. Sapanca Ovası Maşukiye bölgesindeki alüvyal akifer içinde açılan kuyuların logları 81
Şekil 3.27. Sapanca Ovası Yanık-Kurtköy-Kırkpınar ve Sapnaca hattı boyunca alüvyal akifer açılan kuyuların loğları 82
Şekil 3.28. Sapanca Ovası üzerinde doğu-batı doğrultulu hat boyunca alüvyal akifer içinde açılmış sondajlara ait log korelasyonu 83
Şekil 3.29. Alüvyal akiferde artezyen yapan kuyulara örnek. a) Maşukiye-CocaCola kuyusu (SK-10), b) Kurtköy-Futbol sahası kuyusu (SK-14) 87
Şekil 3.30. Sapanca Gölü'nün doğusu, Arifiye'de ki çiçekçiler tarafından sulama amaçlı açılan kuyulardan görünüm 88
Şekil 3.31. Sapanca Gölü'nü yeraltından besleyen sistemleri gösterir basitleştirilmiş şema 90
Şekil 3.32. Sapanca Havzası karstik kaynakların dönemsel sıcaklık değişimi 93
Şekil 3.33. Sapanca Havzası karstik kaynakların dönemsel pH değişimi 94
Şekil 3.34. Sapanca Havzası karstik kaynakların dönemsel EC (µS/cm) değişimi 96
Şekil 3.35. Sapanca Havzası karstik kaynakların dönemsel TDS (mg/l) değişimi 96
Şekil 3.36. Sapanca Havzası karstik kaynakların dönemsel Alkalinite (mg/l-$CaCO_3$) değişimi 97
Şekil 3.37. Sapanca Havzası karstik kaynakların EC-Kot ilişkisi 100
Şekil 3.38. Sapanca Havzası karstik kaynakların Alkalinite-Kot ilişkisi 100

Şekil 3.39. Sapanca Havzası karstik kaynakların karbonat mineralleri açısından doygunluk indeks grafiği (Eylül 2009) 101
Şekil 3.40. Sapanca Havzası karstik kaynakların karbonat mineralleri açısından doygunluk indeks grafiği (Mayıs 2009).....101
Şekil 3.41. Karstik akifer sistemi yeraltı sularının kalsit ve dolomit çözünürlüğü açışından incelenmesi-Mayıs 2009 102
Şekil 3.42. Karstik akifer sistemi yeraltı sularının kalsit ve dolomit çözünürlüğü açışından incelenmesi-Eylül 2009.....102
Şekil 3.43. Sapanca Havzası'ndaki karstik kaynaklara ait Schoeller diyagramı (Mayıs 2009).....104
Şekil 3.44. Sapanca Havzası'ndaki karstik kaynaklara ait Schoeller diyagramı (Eylül 2009) 104
Şekil 3.45. Sapanca Havzası'ndaki karstik kaynaklara ait Piper diyagramı (Mayıs 2009).....105
Şekil 3.46. Sapanca Havzası'ndaki karstik kaynaklara ait Piper diyagramı (Eylül 2009) 105
Şekil 3.47. Sapanca Havzası alüvyal akiferdeki kuyulara ait 11 aylık ortalama sıcaklık (°C) değerleri 109
Şekil 3.48. Sapanca Havzası alüvyal akiferdeki kuyuların dönemsel sıcaklık (°C) değişimi.....109
Şekil 3.49. Sapanca Havzası alüvyal akifer sistemindeki kuyuların 11 aylık ortalama pH değerlerinin değişimi.....110
Şekil 3.50. Sapanca Havzası alüvyal akifer sistemindeki kuyuların dönemsel pH değişimi.....110
Şekil 3.51. Sapanca Havzası alüvyal akifer sistemindeki kuyuların 11 aylık ortalama EC (µS/cm) değerleri 111
Şekil 3.52. Sapanca Havzası alüvyal akifer sistemindeki kuyuların dönemsel EC (µS/cm) değişimi 111
Şekil 3.53. Sapanca Havzası alüvyal akifer sistemindeki kuyuların 11 aylık ortalama ÇO (mg/l) değerleri 112
Şekil 3.54. Sapanca Havzası alüvyal akifer sistemindeki kuyuların dönemsel ÇO (mg/l) değişimi 112
Şekil 3.55. Sapanca Havzası alüvyal akifer sistemindeki kuyuların dönemsel TDS (mg/l) değişimi 113
Şekil 3.56. Sapanca Havzası alüvyal akifer sistemindeki kuyuların dönemsel Alkalinite (mg/l $CaCO_3$) değişimi 114
Şekil 3.57. Sapanca Havzası alüvyal akiferdeki kuyuların yağışlı dönem (Mayıs 2009) Schoeller diyagramı.....115
Şekil 3.58. Sapanca Havzası alüvyal akiferdeki kuyuların kurak dönem (Eylül 2009) Schoeller diyagramı 115
Şekil 3.59. Sapanca Havzası alüvyal akiferdeki kuyuların yağışlı dönem Piper diyagramı (Mayıs 2009).....116
Şekil 3.60. Sapanca Havzası alüvyal akiferdeki kuyuların kurak dönem (Eylül 2009) Schoeller diyagramı 116
Şekil 3.61. Sapanca Havzası alüvyal akifer sisteminde açılan kuyuların karbonat mineralleri açısından doygunluk indeks grafiği (Mayıs 2009) 119

Şekil 3.62. Sapanca Havzası alüvyal akifer sisteminde açılan kuyuların karbonat mineralleri açısından doygunluk indeks grafiği (Eylül 2009).....119
Şekil 3.63. Alüvyal akifer sistemi yeraltı sularının kalsit ve dolomit çözünürlüğü açışından incelenmesi-Mayıs 2009 120
Şekil 3.64. Alüvyal akifer sistemi yeraltı sularının kalsit ve dolomit çözünürlüğü açışından incelenmesi-Eylül 2009.....120
Şekil 3.65. Alüvyal akifere ait yeraltı sularının a) yağışlı (Mayıs 2009) ve b) kurak dönem (Eylül 2009) Ca (mg/l) dağılım haritası.....122
Şekil 3.66. Alüvyal akifere ait yeraltı sularının a) yağışlı (Mayıs 2009) ve b) kurak dönem (Eylül 2009) Mg (mg/l) dağılım haritası.....123
Şekil 3.67. Alüvyal akifere ait yeraltı sularının a) yağışlı (Mayıs 2009) ve b) kurak dönem (Eylül 2009) Cl (mg/l) dağılım haritası.....124
Şekil 3.68. Alüvyal akifere ait yeraltı sularının yağışlı ve kurak dönem EC (µS/cm) dağılım haritası (Mayıs-Eylül 2009).....125
Şekil 3.69. Alüvyal akifere ait yeraltı sularının a) yağışlı (Mayıs 2009) ve b) kurak dönem (Eylül 2009) Alkalinite (mg/l) dağılım haritası 126
Şekil 3.70. ABD tuzluluk diyagramına göre alüvyal akiferdeki yeraltı sularının sınıflandırılması (Mayıs 2009).....133
Şekil 3.71. ABD tuzluluk diyagramına göre alüvyal akiferdeki yeraltı sularının sınıflandırılması (Eylül 2009) 133
Şekil 3.72. Sapanca Gölü'nden ve göl tabanından alınan gözenek ve sızıntı suyu örneklerinin lokasyon haritası.....134
Şekil 3.73. Sapanca Göl tabanından alınan gözenek (sızıntı) suyu örneklerinin göl suyu ile karşılaştırılması 139
Şekil 3.74. Sapanca Gölü ve göl tabanından alınan gözenek (sızıntı) sularının Piper diyagramı 139
Şekil 3.75. Sapanca Havzası'nın güneyindeki akifer sistemleri ve göl taban (gözenek) suyunun yağışlı ve kurak dönem Schoeller diyagramı.....141
Şekil 3.76. Sapanca Havzası'nın güneyindeki akifer sistemleri ve göl taban (gözenek) suyunun yağışlı ve kurak dönem Piper diyagramı.....142
Şekil 3.77. Sapanca Havzası'nda izotop ($^{18}O/^{2}D/^{3}H$) örneklemesi yapılan lokasyonlar 146
Şekil 3.78. Sapanca Havzası yeraltı sularının Oksijen-18 ($\delta^{18}O$)-Döteryum ($\delta^{2}H$) grafiği 147
Şekil 3.79. Sapanca Havzası yeraltı sularının Döteryum ($\delta^{2}H$)-Trityum (TU) grafiği 151
Şekil 3.80. Sapanca Havzası yeraltı sularının Oksijen-18 ($\delta^{18}O$)-Trityum (TU) grafiği 153
Şekil 3.81. Sapanca Havzası yeraltı sularının Cl-Trityum grafiği (Eylül-2009).....155
Şekil 3.82. Sapanca Havzası yeraltı sularının Cl-Trityum grafiği (Nisan 2010-2014) 155

Şekil 3.83. Sapanca Havzası'nın güney kesimindeki akifer sistemlerinin birbirleriyle ve göl arasındaki beslenim-boşalım ilişkisini gösterir kavramsal model, Soğucak Yayla Sistemi 159
Şekil 3.84. Sapanca Havzası'nın güney kesimindeki akifer sistemlerinin birbirleriyle ve göl arasındaki beslenim-boşalım ilişkisini gösterir kavramsal model, Kartepe-Kuzu Yayla Sistemi 160

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Çalışma alanı ve çevresindeki meteoroloji istasyonlarına ait yağış ve sıcaklık değerlerinin uzun yıllar ortalaması.....10
Tablo 2.1. Sapanca Gölü güney kıyısı boyunca yeraltı suyu çıkışların gözlendiği lokasyonların koordinat bilgisi 35
Tablo 3.1. Sapanca Gölü'nün farklı tarihler için belirlenmiş hidrolik bekleme süresi.....62
Tablo 3.2. Sapanca Gölü'nü besleyen belli başlı derelerin uzunlukları ve ortalama debi miktarları 63
Tablo 3.3. 2008-2009 yılları için Sapanca Havzası'nı güneyden ve kuzeyden besleyen derelerin aylık debi ortalamaları.....66
Tablo 3.4. 2008-2009 yılı verileri kullanılarak oluşturulan Sapanca Göl su bütçesi.....78
Tablo 3.5. Sapanca Ovası için Thornthwaite metodu ile potansiyel ve gerçek buharlaşma hesabı 71
Tablo 3.6. Sapanca Havzası'nın güneyindeki kaynakların boşalım kotları, koordinat ve debi bilgileri 77
Tablo 3.7. Sapanca Havzası'nın güneyindeki su fabrikaları tarafından işletilen kaynakların toplam kaynak ve tahsis debileri 79
Tablo 3.8. Sapanca Ovası alüvyal akiferin hidrojeolojik parametreleri.....84
Tablo 3.9. İncelenen kuyuların koordinat, kot, derinlik, debi ve kurum bilgileri.....86
Tablo 3.10. Sapanca Ovası'nda incelenen kuyulara ait statik ve dinamik su seviye (m) ölçüm değerleri (Mayıs, 2009-2010).....89
Tablo 3.11. Seepage (sızıntı) metrelerin lokasyon, koordinat ve günlük ortalama sızıntı miktarları.....91
Tablo 3.12. Alüvyon akifer sisteminden göle olan yıllık toplam boşalım miktarı ve sızıntı akısı.....91
Tablo 3.13. Sapanca Havzası karst akifer sistemindeki yeraltı sularının başlıca fiziksel ve kimyasal parametrelerinin istatistik özelliklerinin dönemsel değişimi 95
Tablo 3.14. Havzadaki karstik kaynakların hidrojeokimyasal fasiyesi ve dönemsel değişimi 106
Tablo 3.15. Sapanca Havzası alüvyal akifer sistemindeki yeraltı sularının fiziksel ve kimyasal parametrelerinin istatistiksel özellikleri 108
Tablo 3.16. Sapanca Havzası alüvyal akiferin hidrojeokimyasal fasiyesi ve dönemsel değişimi.....117
Tablo 3.17. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği'nde (2013) belirtilen ve çalışma kapsamında değerlendirilen bazı parametrelerin sınır değerleri.....128

Tablo 3.18. Sapanca Ovası'nda alüvyal akifer sisteminde açılan kuyulara ait suların elektriksel iletkenlik, SAR ve %Na değerleri 132
Tablo 3.19. Sapanca Gölü'nden ve göl taban (sızıntı) suyundan alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçları 135
Tablo 3.19. (Devam) Sapanca Gölü'nden ve göl taban (sızıntı) suyundan alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçları 136
Tablo 3.19. (Devam) Sapanca Gölü'nden ve göl taban (sızıntı) suyundan alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçları 137
Tablo 3.20. Sapanca Havzası yeraltı su örneklerine ait izotop ($\delta^{2}H$ ve ^{3}H) analiz sonuçları (2009-2010).....148
Tablo 3.21. Sapanca Havzası, göl ve göl tabanından alınan gözenek suyu örneklerine ait izotop ($\delta^{18}O$, $\delta^{2}H$ ve ^{3}H) analiz sonuçları (2014 Nisan-Temmuz) 149
Tablo 3.22. Sapanca Havzası'nda analizi yapılan kaynaklar için döteryum fazlası (Df) değerleri.....150

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Alan, (m^2)
Al	: Alüminyum
Ag	: Gümüş
As	: Arsenik
B	: Batı
B	: Bor
Ba	: Baryum
Be	: Berilyum
Br	: Brom
ºC	: Santigrat derece
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
Cl	: Klor
cm	: Santimetre
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
^2D	: Döteryum
Δ	: Delta
ΔS	: Depodaki değişim
F	: Flor
Fe	: Demir
^3H (T)	: Trityum
HCO_3	: Bikarbonat
Hg	: Civa
HNO_3	: Nitrik asit
K	: Potasyum
L	: Litre
Li	: Lityum
m	: Metre
m^2	: Metrekare
m^3	: Metreküp
meq	: Miliekivelan
Mg	: Magnezyum
mg	: Miligram
µg	: Mikrogram
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
Mn	: Manganez
Mo	: Molibden
µS	: Mikrosimens
N	: Azot
n	: Örnek sayısı
Na	: Sodyum

NH_4 : Amonyum
NO_3 : Nitrat
NO_2 : Nitrit
^{16}O : Oksijen-16
^{17}O : Oksijen-17
^{18}O : Oksijen-18
P : Fosfor
P : Yağış, (mm)
Pb : Kurşun
PO_4 : Fosfat
Q : Debi, (m^3/s)
Rb : Rubidyum
S : Depolama Katsayısı, (%)
s : Saniye
Sb : Antimon
Se : Selenyum
Si : Silis
Sn : Kalay
SO_4 : Sülfat
Sr : Stronsiyum
T : Sıcaklık
T : İletimlilik, (m^2/s)
t : Zaman, (gün)
Ti : Titanyum
Tl : Talyum
U : Uranyum
V : Hacim, (m^3)
V : Vanadyum
Zn : Çinko
% : Yüzde
‰ : Binde

Kısaltmalar

ABD : Amerika Birleşik Devletleri
ALOS : Advanced Land Observing Satellite (Gelişmiş Arazi Uydu Görüntüsü)
CV : Coefficient of Variation (Değişim Katsayısı)
ÇO : Çözünmüş Oksijen
D : Doğu
DAFZ : Doğu Andolu Fay Zonu
DB : Doğu Batı
DEM : Digital Elevation Model (Dijital Yükseklik Modeli)
Df : Döteryum Fazlası
DMİ : Devlet Meteoroloji İstasyonu
DSİ : Devlet Su İşleri
DSİ TAKKD : Devlet Su İşleri Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi
EC : Elektrical Conductivity (Elektriksel İletkenlik)
EPA : Environmentel Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)

Etp	: Potansiyel buharlaşma
Etr	: Gerçek buharlaşma-terleme
G	: Güney
GB	: Güney Batı
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)
HDPE	: High Density Polyethylene (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)
IAEA	: International Atomic Energy Agency (Uluslararası Atom Enerji Ajansı)
IC	: Ion Chromatography (İyon Kromotografi)
ICP-MS	: Inductively Coupled Plasma-Mass Spectometer (İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi)
İSU	: İzmit Su ve Kanalizasyon İdaresi
K	: Kuzey
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
KAFS	: Kuzey Anadolu Fay Sistemi
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
KD	: Kuzey Doğu
KDAFZ	: Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonu
KG	: Kuzey Güney
MTA	: Maden Tetkik Arama
PVC	: Polivinil Klorür
ppb	: Parts Per Billion (Milyarda Bir)
SAR	: Sodium Adsorption Ratio (Sodyum Adsorpsiyon Oranı)
SASKİ	: Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi
SI	: Saturation Indeks (Doygunluk İndeksi)
SMOW	: Standart Mean Ocean Water (Standart Ortalama Okyanus Suyu)
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission (Topoğrafik Mekik Radar Ölçer)
TEM	: Trans Europan Motorway (Trans Avrupa Otoyolu)
TDS	: Total Dissolved Solid (Toplam Çözünmüş Madde)
TOK	: Toplam Organik Karbon
TSI	: Trophic State Indeks (Trofik Durum Endeksi)
TU	: Trityum Unit (Trityum Birimi)
TÜPRAŞ	: Türkiye Petrol Rafineri A.Ş.
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜBİTAK-MAM	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu-Marmara Araştırma Merkezi
USGS	: United States Geological Survey (Amerika Jeoloji Etütleri)
UTM	: Universal Transverse Mercator (Evrensel Enlem Markatörü)
WGS	: World Geographic System (Dünya Coğrafi Sistemi)
WHO	: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
YSA	: Yapay Sinir Ağları

SAPANCA (SAKARYA) GÖL HAVZASININ HİDROJEOLOJİ İNCELEMESİ VE KAVRAMSAL YERALTI SUYU MODELLEMESİ

ÖZET

Sapanca Gölü, Kocaeli ve Sakarya illerinin sınırları içinde bulunan ve bölgenin içme suyu ihtiyacını karşılayan tektonik kökenli bir tatlı su gölüdür. Beslenme alanı yaklaşık 275 km^2 olan Sapanca Göl Havzası, hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotopik açıdan değerlendirilerek akifer sistemlerinin birbirleriyle ve göl arasındaki ilişkisi ortaya konmuştur. Havzada yağışlı ve kurak dönemi temsil etmesi amacıyla 22 kaynak, 24 kuyu ve göl suyu örneklemesi yapılmıştır. Göle gelen yeraltı suyu boşalımı ve kimyası göl tabanına yerleştirilen sızıntı ölçerler ve piyezometreler yardımıyla ayrıca belirlenmiştir. Beslenme alanındaki yapısal kontrollü yeraltı suyu dolaşım mekanizmasını belirlemek amacıyla havzanın çizgisellik haritası oluşturulmuştur.

Sapanca Göl Havzası'nda önemli yeraltı suyu potansiyeline sahip iki ana akifer sistemi bulunmaktadır. Bunlar havzanın güneyinde Triyas yaşlı mermerler içinde gelişmiş karst akifer sistemi ile ovada doğu-batı yönünde yayılım gösteren Kuvaterner yaşlı alüvyal yelpaze akiferidir. Karstik akifer sisteminin beslenim alanını, geniş bir düzlüğe sahip, üzerinde dolinler, düdenler, çöküntü alanları ve kaybolan nehirler gibi yaygın karstik şekillerin bulunduğu ortalama yüksekliği 1200 m olan Samanlı Dağları'nın düzlükleri oluşturmaktadır. Bölgenin güneyindeki mermer birimler içinden 200-1100 m arasındaki kotlardan boşalan karstik kaynakların debileri 1-75 l/s arasında değişmektedir.

Dereler ve dağ önü beslenim alüvyon akiferlerin ana beslenim mekanizmasını oluşturmaktadır. Karst ve alüvyon akiferindeki yeraltı suyunun hareketi havza içinde Sapanca Gölü'ne doğrudur.

Havzadaki yeraltı suları Ca-HCO_3 ve CaMg-HCO_3 kökenlidir. Kaynak, kuyu ve göl tabanından alınan yeraltı suları Marmara Meteorik Doğrusu üzerinde yer alırken, göl suyu buharlaşmaya bağlı olarak Oksijen-18'ce zenginleşme göstermektedir. Havzadaki suların Trityum değerleri 5,2 ve 8 TU arasında değişmektedir. Hidrojeokimyasal ve izotopik veriler havzadaki yeraltı sularının güncel yağışlardan beslenen ve birbirleriyle ilişkili benzer kökenli sular olduğunu göstermektedir.

Sapanca Gölü yüzeyden yağış ve derelerle, yeraltından ise alüvyon akiferinden ve göl tabanındaki karstik boşalımlardan beslenmektedir. Göl tabanından alüvyon hattı boyunca sızıntı ölçerle yapılan ölçümler, alüvyondan meydana gelen boşalımların, nispeten düşük düzeylerde kaldığını, derin karstik boşalımların gölün besleniminde önemli rol oynadığını işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel İzotoplar, Hidrojeokimya, Sapanca Göl Havzası, Sızıntı Ölçer, Yeraltı-Yüzey Suyu İlişkisi.

HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATION OF SAPANCA LAKE BASIN AND CONCEPTUAL MODEL OF GROUNDWATER

ABSTRACT

Sapanca Lake is located within the boundaries of Kocaeli and Sakarya provinces, and it is a tectonic origin freshwater lake that supplies the drinking water demand of the region. The recharge area of Sapanca Lake basin is approximately 275 km^2. In this study, hydrogeological, hydrochemical and isotopic evaluation of aquifer systems were carried out to determine the relationship of aquifer systems with each other and Sapanca Lake. In order to represent the wet and dry periods in the basin, 22 springs, 24 wells and lake water sampling were conducted. The rate of groundwater discharge to the lake and its chemistry were determined with the seepage meters and piezometers installed on the lake shoreline. Lineament map of the basin was also prepared in order to determine the structurally controlled groundwater movement mechanism in the recharge area.

There are two main aquifer systems that have significant groundwater potential in the Sapanca lake basin. These are karstic aquifer systems developed in Triassic aged marbles in the south and Quaternary aged alluvial fan aquifer that spreads in east-west direction of the basin. The recharge area of the karstic aquifer is characterized with wide plains, sinkholes, depression fields and disappearing streams located on the high plains of Samanlı Mountains with an average elevation of 1200 m. In the southern part of the basin, there are numerous karstic springs discharged at varying elevations from 200 to 1100 m with a discharge rate of 1 to75 1/s.

Streams and mountain-front recharge constitute the main recharge mechanisms of alluvial aquifer. Groundwater movement in karstic and alluival aquifers is towards the Sapanca Lake in the basin. Groundwater in the basin shows Ca-HCO_3 and CaMg-HCO_3 type water facies. Groundwater taken from the springs, wells and the base of lake were placed along the Marmara Meteoric Line while lake water showed enrichment in Oxygen-18 due to evaporation effect. Tritium levels of the groundwater in basin varied between 5,2 and 8 TU. Hydrochemical and isotopic data indicated that groundwater in the basin was modern water and showed strong interrelation.

Sapanca Lake recharges from streams and precipitation in the surface and discharges from alluvial and karstic systems in the lake bottom. Seepage measurements conducted at the shallow lake base suggests that discharge from alluvial aquifer was relatively low and deep karstic discharges played an important role in the recharge of the Sapanca Lake.

Keywords: Environmental Isotopes, Hydrogeochemistry, Sapanca Lake Basin, Seepage Meter, Groundwater-Surface Water Interaction.

GİRİŞ

Yaşam için temel ve vazgeçilmez bir ihtiyaç olan su, günümüzde içme-kullanma, tarımsal faaliyetler, enerji üretimi, sanayi ve doğal ihtiyaçların karşılanmasında olduğu kadar sosyal ve ekonomik kalkınmada da ciddi bir öneme sahiptir. Bunun yanı sıra su kaynaklarının stratejik öneme sahip olması ve sınırlı miktarda bulunması bu kaynakların korunarak, sürdürülebilir ve etkin yönetimini gerekli kılmaktadır.

Son yıllarda küresel kaynaklı iklim değişiklikleri, nüfus artışı ve sanayileşme sınırlı su kaynakları üzerinde ciddi baskılar oluşturmaktadır. Yüzey sularının olmadığı veya sınırlı olduğu yerlerde yeraltı suyu kaynaklarının üzerinde ki bu baskı büyük oranda artmaktadır. Bu çerçevede su kaynakları yönetiminin teknik, ekonomik, hukuki ve ekolojik denge gözetilerek yapılması son derece önem arz etmektedir.

Son yıllarda dünya genelinde bütünleşik havza yönetimi kabul görmektedir. Bütünleşik yaklaşım temelli yönetim anlayışında, çok sayıda probleme geniş ölçekte çözüm getirme ile yeni bazı kavramların (sürdürülebilirlik, paydaşların katılımı, uluslararası ilkeler, bütünleşik havza yönetimi) temel alındığı bir yönetim modeli benimsenmektedir. Bu yönetim anlayışı su ve toprak kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını teşvik ederek, su ekosistemlerinin ve bunlara bağlı diğer ekosistemlerin korunması, iyileştirilmesi ve olası tahribatların önlenmesi hedeflenmektedir. Bu bağlamda tabii kaynakların yönetiminde havza ölçeği esas alınmalıdır (URL-1)

İnceleme alanı olan Sapanca Havzası stratejik bir bölge de iki büyük sanayi kenti olan Sakarya ve Kocaeli sınırları içinde yer almaktadır. Sapanca Gölü içme suyu olarak kullanılan ender tatlı su göllerimizden biridir.

Kocaeli ve Sakarya, sanayi ve içme suyu ihtiyaçlarının bir kısmını Sapanca Gölü'nden karşılamaktadır. Bölgedeki köy ve ilçelerin içme suyu ihtiyacı havzanın güneyinde bulunan doğal kaynak suyu çıkışları ve kısmen de ovadaki yeraltı sularından karşılanmaktadır.

Bununla beraber havza içinde faaliyet gösteren birçok özel içme suyu fabrikası bulunmaktadır. Sonuç olarak, Sapanca Gölü ve havzası yakın çevrenin ve bölgenin içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılayan önemli bir su havzası konumundadır.

Sapanca Gölü ve çevresi doğası itibari ile yerli ve yabancı turistlerin tercih ettiği bir bölgedir. Sapanca Göl Havzası içindeki yerleşim alanları, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler, işlek ulaşım yolları, dereler üzerindeki restoranlar ve alabalık üretim çiftlikleri gölün ve havzanın su potansiyeli ve kalitesi üzerinde ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle Sapanca Havzası'nın bütünleşik havza yönetimi anlayışı ile yönetilmesi büyük önem arz etmektedir. Havza için koruma alanlarının oluşturulması göl, yüzey ve yeraltı sularının kalite ve miktar açısından sürekli izlenmesi ayrıca kısa, orta ve uzun vadeli planlamalar yapılarak havza için koruma ve izleme kriterleri belirlenmelidir.

Sapanca Göl ve havzası için bugüne kadar, birçok araştırmacı ve kurum tarafından çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar daha çok göl bütçesi, göl ve gölü besleyen derelerin kalitesi üzerine yapılmıştır. Sapanca ve cıvarı için hidrojeolojik çalışmalar Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından 1960'lı yıllarda yapılmıştır. Hidrojeolojik çalışmalar daha çok kıyı ovaları boyunca sınırlı alanlar için yapılmış ve güncelliğini yitirmiştir. Bu çalışmaların dışında yeraltı suyu kalitesi ve dinamiklerini içeren detaylı bir hidrojeolojik çalışma yapılamamıştır. Bunun en büyük sebebi olarak, Sapanca Havzası'nın doğal su kaynakları açısından büyük zenginliğe sahip güney kesimlerinin sık bir ormanlık alana sahip olması gösterilebilir. Su kaynaklarına olan ulaşımın zorluğu yıllar boyunca bu bölgenin çalışılmasını zorlaştırmıştır.

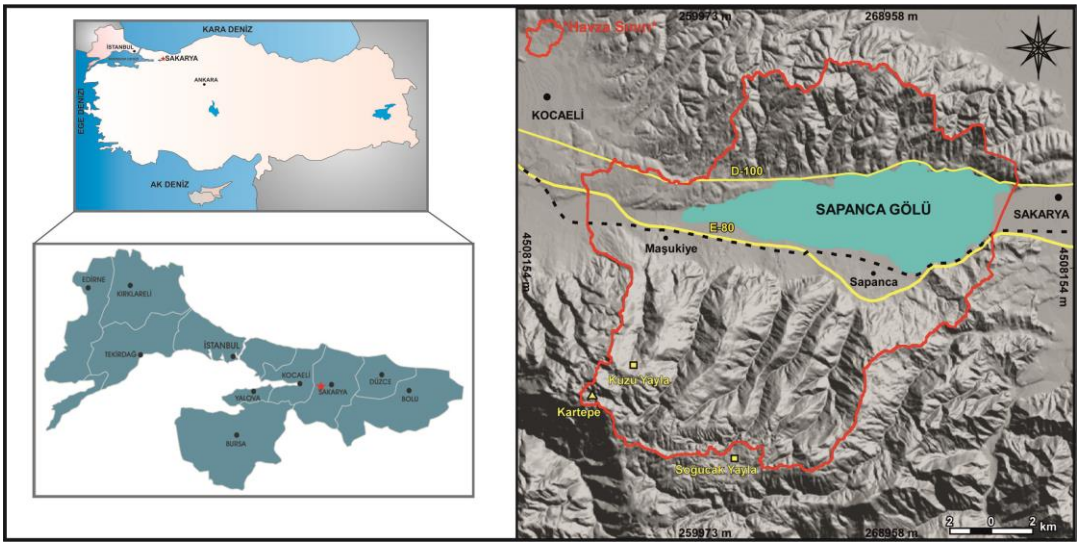
Bu çalışma ile Sapanca Havzası için kapsamlı bir hidrojeolojik çalışma yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, havzadaki akifer sistemleri belirlenerek köken, dolaşım ve beslenme mekanizmaları ortaya konmuştur. Akifer sistemlerinin birbirleriyle ve göl arasındaki ilişkisi hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotopik ($^{18}O/^{2}H/^{3}H$) açıdan değerlendirilerek yorumlanmış ve havzanın güney kesimindeki akifer sistemleri ve göl arasındaki ilişkiyi ortaya koyan kavramsal bir model oluşturulmuştur.

Çalışmanın sonucunda elde edilecek verilerin, yerel yönetimlere ve kurumlara havza planlama ve yönetme aşamasında ayrıca katkı sağlaması amaçlanmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Çalışma Sahasının Konumu

Sapanca Havzası coğrafi olarak 40° 36’ ile 40° 47’ kuzey enlemleri ve 30° 05’ ile 30° 21’ doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1.1). Havzanın batısında İzmit Ovası, doğusunda Sakarya Ovası, Kuzeyinde Kocaeli Platosu ve güneyinde Samanlı Dağları bulunmaktadır. Havza 1/100.000’lik G24 paftası içinde yer almaktadır. Havzanın en yüksek noktasını Kartepe (1602 m), en düşük yerini ise Sapanca Gölü oluşturmaktadır (Şekil 1.2).



Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

Sapanca Gölü ise Sakarya Nehri ile İzmit Körfezi arasında uzanan, deniz seviyesinden ortalama 30 m yükseklikte bulunan bir tatlı su gölüdür. Sapanca Gölü, İznik Gölü’ne paralel olarak uzanan ve İzmit Körfezi’nin devamı halinde Adapazarı Ovası’na kadar ulaşan tektonik bir çukurda yer almaktadır.

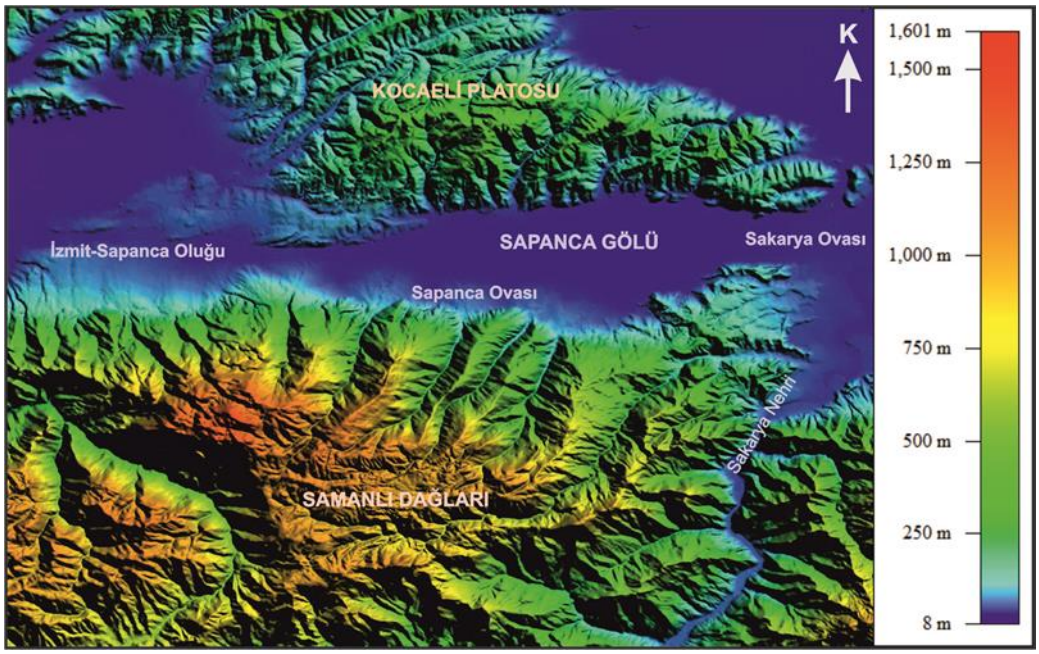
Sakarya ilinin Sapanca, Kırkpınar, Kurtköy Arifiye ve Serdivan Belediyelerinin bir kısmı ile Kocaeli ilinin Maşukiye, Hikmetiye, Suadiye ve Eşme Belediyelerinin tamamı havza içinde kalmaktadır. Ayrıca havzada çok sayıda köy bulunmaktadır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Sapanca Havzası ve civarını gösterir ALOS uydu görüntüsü (Altlık olarak kullanılan uydu görüntüsü TÜBİTAK'tan (2012) temin edilmiştir

1.2. Jeomorfoloji

Sapanca Havzası'nda dikkati çeken dört önemli jeomorfolojik unsur bulunmaktadır. Bunlar; Sapanca Gölü'nün de içinde yer aldığı İzmit-Sapanca Oluğu, doğusunda Sakarya Nehri ve Ovası, kuzeyinde Kocaeli Platosu, güneyinde doğu-batı doğrultulu dar bir şerit halinde uzanan Sapanca Ovası ve yüksek kesimlerindeki Samanlı Dağları'dır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Sapanca Havzası ve civarının morfotektonik özellikleri

Sapanca Gölü'nün güneyindeki alüvyal yelpazelerin bitiminden hemen sonra yükselti kısa mesafelerde artarak 1000 m'nin üzerine çıkmaktadır. D-B uzanımlı dik yamaçlı bu dağ sırası, KD-GB gidişli akarsu vadileriyle bölünmüştür.

Havzada Samanlı Dağları üzerinde yükseklikleri 874 m ile 1546 m arasında değişen tepeler bulunmaktadır. Bu tepeler yaklaşık kuzeybatı güney doğu doğrultuludur. Bunlar, Çiçekli Tepe (1546 m), Geyikalan Tepe (1454 m), Demirkapı Tepe (1391 m), Dibektaş Tepe (1168 m), Doğansivri Tepe (1284 m), Hacıhüseyin Tepe (1236 m), Kiraz Tepe (1253 m), Demirkapı Tepe (1111 m), Kurugöller Tepe (1199 m), Narlı Tepe (1207 m), ve Sivri Tepe (874 m)'dir. Samanlı Dağları'nın havza içinde kalan bölümünde yükselti batıdan doğuya doğru azalmaktadır.

Bunun yanında yüksek tepelerin bulunduğu bölgelerde geniş alanlara yayılmış zirve düzlükleri yer almaktadır. Bu düzlüklere Soğucak Yayla (1200 m) ve Kuzu Yayla (1300 m) örnek verilebilir.

Kocaeli Platosu'nun çalışma alanı içinde yer alan en yüksek yeri Çırçır Tepe (463 m)'dir. Bu tepe dışında da havzanın kuzey bölümünde çok sayıda alçak ve hafif eğimli tepeler bulunmaktadır. Bu tepeler de yine Samanlı Dağları üzerindeki tepeler gibi yaklaşık kuzeydoğu-güneybatı yönlü ve birbirine paralel şekilde uzanmaktadır (Ay, 2012). Bu tepelerin başlıcaları, Kum Tepe (332 m), Tahtacı Tepe (363 m), Yankese Tepe (235 m), Mısırlık Tepe (403 m), Yoncalı Tepe (326 m), Kocapınar Tepe (246 m), Yayla Tepe (323 m), Taş Tepe (376 m), Toz Tepe (409 m) ve Pirinçlik Tepe (309 m)'dir.

Topoğrafik olarak Sapanca Gölü'nün güney kesimi kuzey kesimine göre daha yüksektir (Şekil 1.3). Havzanın güneyindeki drenaj sistemi KD-GB gidişli vadiler boyunca gelişmiştir. Güney kesimdeki derelerin yatak eğimleri yüksek olduğu için akış hızları ve aşındırma güçleri de yüksektir

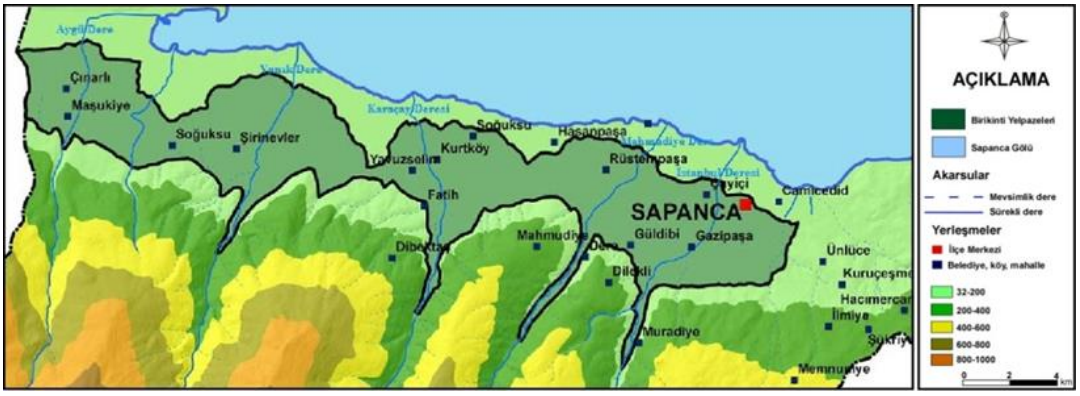
Kocaeli Platosu'ndan Sapanca Gölü'nün kuzeyine dökülen dereler, güneyde Samanlı Dağları üzerinden dökülen dereler gibi birbirine paraleldir. Ancak kuzeydeki dereler güneydeki derelere göre derin vadiler oluşturmamıştır. Bu durumun en önemli nedeni havzanın kuzeyinde ki ortalama yükseltinin daha az olması ve buradaki derelerin boylarının kısa ve debilerinin düşük olmasıdır.

Sapanca Havzası güneyinin en belirgin özelliği başlıca iki farklı yönde gelişmiş faylar ve bunların oluşturduğu morfolojidir. Bu faylar birbirine dik/ortogonal gelişmiştir. Faylardan yaklaşık K-G yönlü olanlar güneydeki Kartepe yükselimini drene eden derelerin, D-B yönlü olanlar ise Sapanca Havzası'nın oluşumundan sorumludur. Saha gözlemleri ve uydu fotoğraflarına göre K-G yönlü faylar D-B yönlü fayları kesmektedir.

Önceki çalışmalara göre, K-G yönlü faylar bölgedeki K-G yönlü paleotektonik (Pliyo-Kuvaterner öncesi) sıkışmayla ilgili yapılardır (Gürbüz ve Gürer, 2008a-b, 2009). Kuzey Anadolu Fay Sistemi'nin (KAFS) Marmara bölgesine girmesiyle D-B doğrultulu İzmit-Sapanca Koridoru oluşmaya başlamıştır (Geç Pliyosen veya Alt

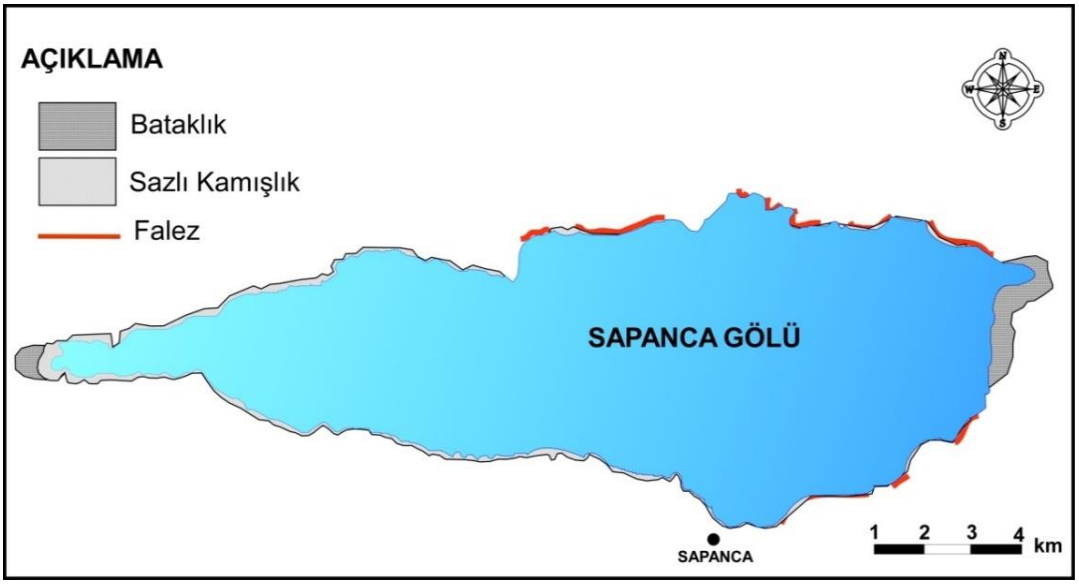
Pleyistosen). Sapanca Havzası bugünkü geometrisini olasılıkla Orta Pleyistosen'de (300-500 bin yıl) kazanmıştır (Gürbüz ve Gürer, 2008b, 2009). KAFS'nin bölgeye yerleşimi sürecinde daha yaşlı olan K-G doğrultulu faylar olasılıkla bu dönemde yeniden aktive olmuştur. Böylece Pleyistosen-Holosen süresince K-G yönlü drenaj ağı önceden gelişmiş, K-G doğrultulu fay kontrollü vadilere yerleşmiştir. Bu drenaj ağı havzaya su ve çökel taşıyan en önemli morfolojik unsurdur.

Havzanın jeomorfolojik özelliklerinin ortaya çıkmasında KAFS'nin büyük rolü vardır. KAFS, Bolu yakınlarında iki kola ayrılmakta ve bu kollardan biri havza tabanından biri de havzanın güneyinden İznik Depresyonu'ndan geçmektedir. Bu suretle KAFS'nin geçtiği alanlar çökerken, bu iki çöken alan arasında kalan Samanlı Dağları da yükselerek kubbeleşmiş ve bugünkü jeomorfolojik görünümünü kazanmıştır. Ayrıca KAFS'nin ötelemesi sonucunda Sapanca Gölü'nün güneyinde 1-2 km genişliğinde düz bir alan oluşmuştur. Yükselen Samanlı Dağları üzerinde derelerin derine aşındırma süreci hızlanmış ve derin vadiler oluşmuştur. Topografyanın yükselmesiyle akarsuların akış hızları ve dolayısıyla taşıdığı malzeme de artmıştır. Akarsular da taşıdıkları bu malzemeleri kıyının hemen gerisinde yer alan düz alan nedeniyle göle kadar ulaştıramamışlar, Samanlı Dağları'nın eğim kırıklığından itibaren biriktirerek geniş bir birikinti yelpazesi oluşturmuşlardır. Birikinti yelpazesini geçen akarsular daha ince boyutlu malzemeleri taşıyarak Sapanca Ovası'nı ve göl içinde basit deltalar oluşturmuşlardır. Havzanın güneyindeki yüksekliklerden inen dereler eğimin azaldığı ova kesiminde birikinti konileri ve yelpazelerini oluşturmuş, zamanla yanlara ve ileriye doğru ilerleyerek birbirleri ile birleşen ovaları (piedmont) oluşturmuşlardır (Şekil 1.4) (Ay, 2012).



Şekil 1.4. Sapanca Ovası birikinti (alüvyal) yelpazelerinin birleşerek oluşturdukları piedmont ovaları (Ay, 2012)

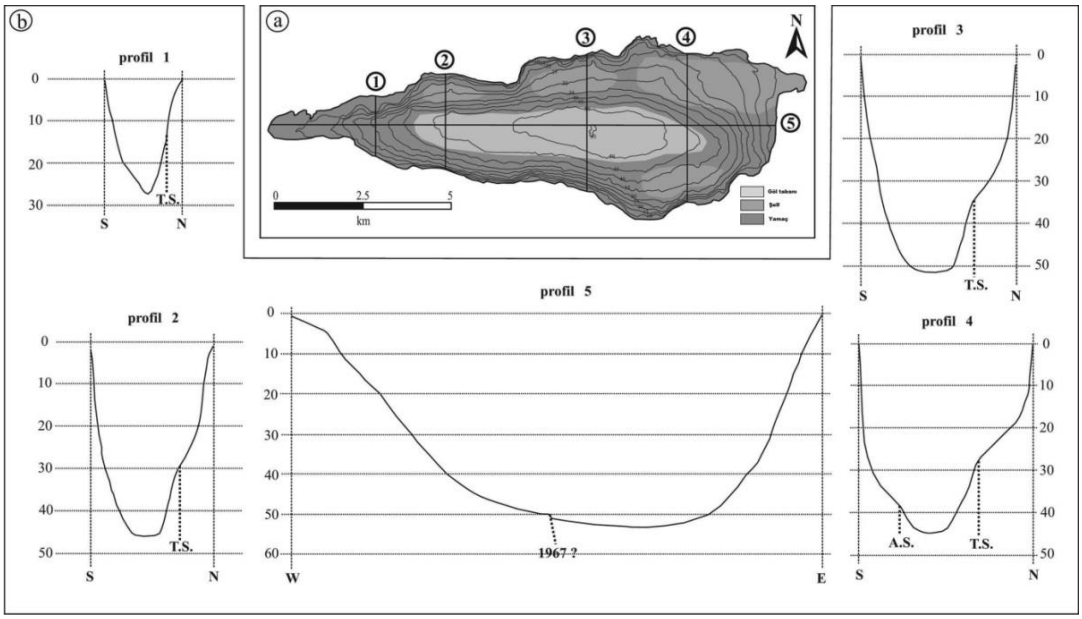
Yaklaşık 39 km uzunluğunda olan Sapanca Gölü kıyıları boyunca alçak ve yüksek kıyı tipleri bir arada görülmektedir. Gölün özellikle kuzey tarafında 10-20 m arasında değişen falezler bulunmaktadır. Alçak kıyılar ise, sazlık-kamışlık, kumlu-çakıllı plajlar, delta ve koylar ile kaplıdır. Bataklıklar ise gölün doğu ve batı kıyı kesimlerini oluşturmaktadır (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Sapanca Gölü kıyılarının morfolojik özellikleri (Ay, 2012'den değiştirilerek alınmıştır

Göl içerisinde gözlenen en önemli morfolojik özellik göl içi düzlükleri, yamaçlar ve taban çukurudur. Gürbüz ve Gürer (2008) yürüttükleri batimetrik analizler sonucunda göl taban morfolojisinde 4 adet yamaç tespit etmişlerdir (Şekil 1.6). Bunlardan ikisi göl suyunu karasal çevreden ayırmakta, geri kalan ikisi ise göl içi düzlüklerini taban çukurundan ayırmaktadır. Düzlükler yaklaşık olarak D-B yönünde

Sapanca Gölü'nün her iki tarafında da uzanan bölgeleri teşkil eder ve bu bölgelerde ortalama derinlikler -15 m'den -35 m'ye kadar değişim gösterir. Yamaçlar, düzlükler ile göl kıyısı arasında ve benzer şekilde düzlükler ile taban çukuru arasında gözlemlenir. Taban çukuru göl havzasının ortasında D-B yönelimli bir morfolojiyle yer almaktadır ve diğer morfolojik özelliklerden gölün içerisinden geçen Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın geometrisi nedeniyle ayrılmıştır (Gürbüz ve Gürer, 2008).



Şekil 1.6. (a) Sadeleştirilmiş batimetri haritası ve Sapanca Gölü'nün taban morfolojisi. (b) Batimetrik harita kullanılarak ortaya çıkarılan faylar. AS: Arifiye Kesimi. TS: Tepetarla Kesimi (Gürbüz ve Gürer, 2008)

1.3. İklim ve Bitki Örtüsü

Sapanca Havzası'nın bulunduğu Marmara bölgesi iklimi; karasal Karadeniz iklimi ve Akdeniz iklimleri arasında geçiş göstermektedir. Özellikle sıcaklık ve yağış rejimleri açısından bu iki iklimin özelliklerini gösterir.

Yazları Karadeniz iklimi kadar yağışlı değildir, yazlarıda kurak değildir. Kışları Akdeniz ikliminin aksine soğuk geçer. Bitki örtüsü de alçak kesimlerde Akdeniz bitki örtüsü, yüksek kesimlerde ise Karadeniz kıyılarımızdaki gibi nemli ormanlar yer alır. Yaz ve sonbahar aylarında Karadeniz kesimindeki gibi yağış alan bölgede; kış mevsimleri Marmara geneli yağışlarına benzer özellik gösterir, ilkbaharda da Marmara bölgesinden çok daha fazla yağış almaktadır (Şensoy, 2008).

Çalışma alanı ve yakın çevresinde Sapanca (1690), Sakarya (17069) ve Kocaeli (17066) ölçüm istasyonları bulunmaktadır. Bu istasyonlara ait uzun yıllar yağış ve sıcaklık ortalama değerleri Tablo 1.1'de gösterilmiştir.

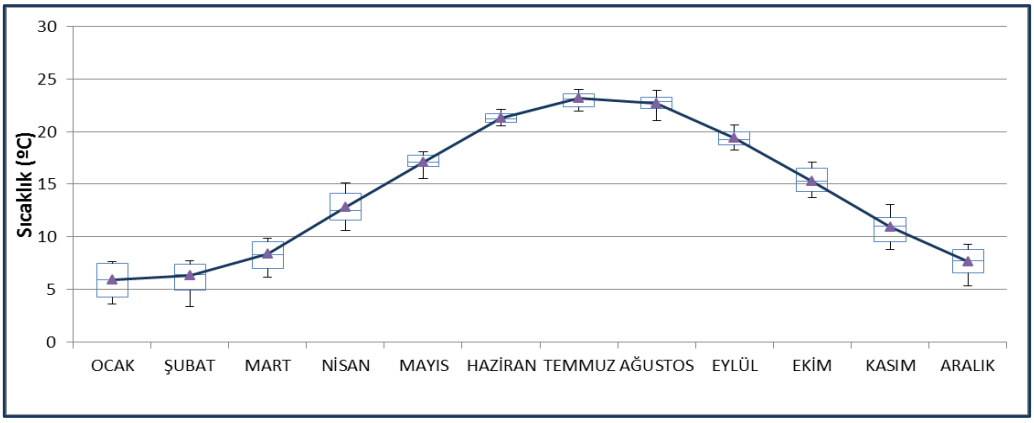
Tablo 1.1. Çalışma alanı ve çevresindeki meteoroloji istasyonlarına ait yağış ve sıcaklık değerlerinin uzun yıllar ortalaması

İSTASYON	PARAMETRE	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	UZUN YILLIK ORTALAMA SICAKLIK VE TOPLAM YAĞIŞ DEĞERLERİ
Kocaeli (17066)-1970-2014	Sıcaklık (ºC)	6,2	6,5	8,4	13,1	17,3	21,6	23,6	23,2	20,0	15,9	11,3	8,0	15
Sakarya (17069)-1970-2015	Sıcaklık (ºC)	6,5	7,0	9,2	13,4	17,9	22,1	24,2	24,0	20,1	15,9	11,7	8,3	15
Sapanca (1690)-1970-2006	Sıcaklık (ºC)	5,2	5,5	7,5	12,2	16,5	20,9	22,9	22,7	19,2	14,7	10,3	6,9	14
Kocaeli (17066)-1970-2014	Yağış (mm)	84,7	70,7	67,9	56,8	47,5	49,3	39,7	56,3	47,4	94,0	86,6	108,2	809
Sakarya (17069)-1970-2015	Yağış (mm)	95,2	81,9	86,1	45,3	58,3	56,8	42,1	23,6	70,3	82,0	73,9	102,4	818
Sapanca (1690)-1970-2006	Yağış (mm)	85,4	67,8	62,4	57,9	48,7	63,3	40,7	47,8	43,5	111,8	95,4	105,7	830

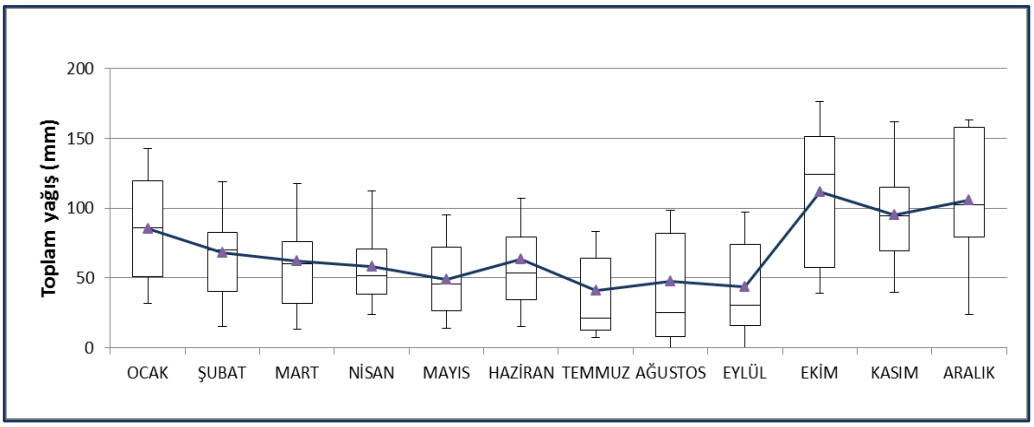
Tablo 1.1'de görüldüğü gibi istasyonların uzun yıllar ortalama sıcaklık ve toplam yağış değerleri birbirine çok yakındır. Çalışmada, Sapanca İstasyonu'na ait 1970-2007 yılları arasındaki veriler değerlendirilmiştir. Sakarya ve Kocaeli İstasyonlarına ait veriler incelendiğinde (1970-2014) bölge genelinde yağış ve sıcaklık rejiminin herhangi bir değişikliğe uğramadığı belirlenmiştir.

Sapanca İstasyonu'na ait veriler (1970-2007) incelendiğinde bugüne kadar ölçülen en yüksek sıcaklık 13 Temmuz 2000 tarihinde kaydedilen 44 ºC, en düşük sıcaklık ise 24 Ocak 1974'te ölçülen -10 ºC'dir.

Sapanca'nın en düşük sıcaklık değeri 5,2 ºC ile Ocak ayında, en yüksek sıcaklık değeri ise 22,9 ºC ile Temmuz ayındadır (Şekil 1.7). Sapanca'nın uzun yıllar yağış ortalaması 830 mm'dir. En çok yağış alan ay, ortalama 112 mm ile Ekim, en az yağış alan ay ortalama, 40,7 mm ile Temmuz ayıdır (Şekil 1.8). Sapanca'da yağışların %34'ü kış mevsiminde, %20'i ilkbaharda, %20'si yaz mevsiminde ve %26'sı sonbaharda meydana gelmektedir. Sapanca'da yağışların yaklaşık %60'lık bir bölümü kış ve sonbahar mevsimlerinde meydana gelmektedir.



Şekil 1.7. Sapanca Meteoroloji İstasyonu'na ait ortalama sıcaklık (ºC) değerleri-(1970-2007)



Şekil 1.8. Sapanca Meteoroloji İstasyonu'na ait ortalama yağış (mm) değerleri-(1970-2007)

Havzanın özellikle güney kesimi ormanlar ve fundalıklarla kaplı olup, kıyıya yakın yerlerde muntazam bir şekilde etrafı tarım arazisi ile çevrili küçük yerleşim birimleri bulunmaktadır. Ormanların büyük bir kısmı gölün güneyine uzanan Samanlı Dağları'nın kuzey yamaçlarındadır (Şekil 1.2). Havzanın kuzeyinde tarım arazisi ve otlak yeri olarak kullanılan açık alanlar ile yer yer orman alanları vardır (Karcı,1997).

Samanlı Dağları üzerindeki nemli ormanlar, topografyanın genel doğrultusuna uygun bir şekilde doğu-batı yönünde bir kuşak halinde uzanır. Samanlı Dağları üzerindeki nemli ormanların hakim elemanı olan kayın, havzanın bu bölümünün neredeyse tamamına yakınında görülmektedir. Kapladığı alan kayına oranla çok az olmakla beraber, nemli ormanların ikinci derecede ağaç türlerini yüksek sahalarda sapsız meşe ve daha aşağı seviyelerde kestane ve ıhlamur oluşturur.

Havzanın güneydoğusunda Soğucak Yayla'ya çıkarken son derece gelişmiş göknar ormanlarına rastlanmaktadır (Güngördü,1999).

Sapanca Havzası'nın kuru ormanlar sahasını Kocaeli Platosu oluşturmaktadır. Kocaeli Platosu'nda nemli orman sahası ile kuru orman sahası arasındaki sınırı, Karadeniz'e dökülen akarsularla Marmara Denizi'ne ve Sapanca Gölü'ne dökülen akarsular arasındaki su bölümü çizgisi oluşturmaktadır. Bu sınırın kuzeyinde kalan saha nemli orman sahası içinde yer almakta, sınırın güneyinde yer alan saha ise kuru orman sahası içinde yer almaktadır. Sapanca Gölü Havzası kuru orman sahasını esas olarak kurakçıl meşe türleri oluşturmaktadır. Ancak bitki örtüsü tahribi sonucunda bu kuru ormanlar, asli karakterini geniş ölçüde kaybetmiş ve yerini Akdeniz maki topluluğuna bırakmıştır (Ay, 2012).

1.4. Önceki Çalışmalar

Sapanca Gölü ve Havzası için literatürde çeşitli yıllarda yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Göl ve gölü besleyen ana derelerin üzerinde yürütülen çalışmalar ağırlıklı olarak su kalitesi ve kirlilik düzeyinin karakterizasyonuna yönelik olmuştur. Sapanca Gölü'nün hidrolojisi ve su potansiyeline yönelik çalışmalar ise Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından yapılmıştır. Havza için yapılan hidrojeolojik çalışmalar ise oldukça sınırlıdır. Havza ile ilgili yapılan araştırmalar kronolojik olarak sunulmuştur.

Risch (1909), Sapanca Gölü ve Kocaeli yarımadasının güneyinde D-B doğrultulu ve doğudan batıya doğru eğimli bir grabenin varlığından söz etmiş, bu grabenin oluşumundan sonra çevre dağlardan akarsularla taşınan malzemelerin Sapanca Gölü ile İzmit Körfezi'ne bırakıldığını ve Sapanca Gölü'nün bir zamanlar deniz olduğunu belirtmiştir. İzmit Körfezi'nin Pliyosen'de Adapazarı Ovası'na kadar uzandığını, Sakarya Nehri'nin de körfeze döküldüğünü söylemiştir. Göl'ün o dönem içinde çakıl depoları ile şimdiki körfezden ayrıldığını ve Sakarya Nehri'nin bir süre göle, oradan da İzmit Körfezi'ne akmaya devam ettiğini ve eski bir vadiyi kullanarak Karadeniz'e ulaştığını belirtmiştir. Risch (1909) çalışmasında, Sapanca Gölü kıyılarını 30 m derinlikte takip eden ve İzmit Körfezi'nin şimdiki kıyı taraçalarına uyan ve daha sonra su altında kalan taraçalarını belirleyerek, göl havzasının bir zamanlar bu körfezin bir parçası olduğunu teyit etmiştir. Ayrıca Sapanca Gölü'ne akarsular tarafından taşınan çakılları incelemiş ve Keltepe'nin çekirdeğinin mikaşist, kloritşist,

kristalen kireçtaşı ve kuvarsit gibi yaşlı kayaçlardan oluştuğunu bu çekirdeğin kendisinden daha genç ve fosilsiz olan marnlı kumlarla temsil edilen bir örtüye sahip olduğunu ifade etmiştir.

Salinet (1913), Sapanca Gölü'nün güneyi için 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası yaparak bölgeyi jeokimyasal olarak incelemiştir. Çalışmasında bölgeyi iki kısma ayırmış; birinci kısımda çinkonun daha yaygın olduğunu ve kayaçların %49 Zn,%3 Pb, %0,12 S içerdiğini, ikinci kısım prospeksiyon alanında ise Fe'in daha fazla dağılım gösterdiğini ve %64,54 Fe, %0,21 Mn ve %0,05 P içeren kayaçlardan oluştuğunu belirlemiştir.

Baykal (1940), Bölgenin Hersinyen ve Alp orojenezleri etkisinde kaldığını, bölgedeki yükseltilerin Paleozoyik, Mesozoyik ve Tersiyer de gelişen 3 erüpsiyon safhasından geçtiğini belirtmiştir.

Lahn (1948), Türkiye'de ki gölleri sınıflandırdığı çalışmasında Sapanca Gölü'nü alüvyal baraj gölleri sınıfı içinde değerlendirmiştir. Sapanca Gölü'nün İzmit Körfezi'ne kadar uzandığını ve Sakarya Nehri'nin de bu körfeze aktığını, sellerin getirdiği alüvyonlarla gölün İzmit Körfezi'nden ve Sakarya Nehri'nden ayrılarak, deniz seviyesinden 30 m yükseldiğini ve bugünkü şeklini aldığını belirtmiştir.

Erinç (1949), Sapanca Gölü'nün Derinlik Haritası ve Morfometrisi adlı çalışmasında Sapanca Gölü'nün en derin yerinin 61 m hacminin ise 1,7 km^3 olduğunu belirtmiştir. Göl çanağının derin kısmının gizli bir çöküntü halinde olduğunu ortaya koyarak, bu çanağın nispeten dik yamaçları ile tektonik kökene sahip olduğu görüşünü öne sürmüştür.

İnandık (1952-1953), Adapazarı Ovası ve Çevresinin Jeomorfolojik Etüdü adlı makalesinde, gölün oluşumundan ve göl çevresinin jeomorfolojik özelliklerinden bahsetmiştir. Ayrıca göldeki sondajlardan elde edilen denizel fosilleri, İzmit Körfezi'nin Adapazarı Ovası'na kadar sokulduğunun ispatı olarak değerlendirmiştir.

Numann (1958), Sapanca Gölü'nde yaptığı limnolojik çalışmaların sonucunda gölde fosfatların bulunmadığı veya pek eser miktarda mevcut olduğunu, uygulanan

metotların kesin bir fikir vermediğini, gölün plankton organizması üretiminin düşük oluşu nedeni ile oligotrofik karakter taşıdığını belirtmiştir.

Bilgin (1967), Samanlı Dağları-Coğrafi Etüdü isimli çalışmasında, Samanlı Dağları'yla bu dağların güneyindeki İznik ve Gemlik çukurluklarının kuzey kesimleri incelenmiştir. Çalışmada jeolojik ve morfolojik özellikler, iklim özellikleri, hidrografya ve bitki örtüsü gibi fiziki coğrafya konularına ağırlık verilmekle birlikte, beşeri ve ekonomik coğrafi özelliklere de yer verilmiştir.

Akartuna (1968), Araştırma sahamızın güney bölümünü de içine alan "Armutlu Yarımadası'nın Jeolojisi" adlı eserinde, Armutlu'dan Sakarya Nehri'ne kadar oldukça geniş bir sahayı incelemiştir. Sapanca Gölü'nün İzmit Körfezi'nin bir kalıntısı olduğunu, İzmit Körfezi İle Sapanca Gölü arasında kalan geniş düzlüğün, kuzeyden Kocaeli Platosu'ndan ve güneyden de Samanlı Dağları'ndan gelen akarsuların taşıdığı materyaller tarafından doldurulduğunu belirtmiştir. Çalışmada jeolojik birimler ayrıntılı olarak çalışılmış temelde Permokarbonifer veya Devoniyen yaşlı kristalen şistlerin altında yer alan metamorfik kayaçların sedimantasyonları sırasında ultrabazik magma faaliyetleri ile oluştuğunu ve daha sonraki tektonik hareketlerle bugünkü şeklini aldığını söylemiştir. Bu şistlerin üzerinde Permokarbonifer, Mesozoik yaşlı birimlerle, Senozoik yaşlı birimlerin bulunduğunu ve denizel çökellerin üzerinde de traverten ve alüvyonların yer aldığını söylemiştir.

DSİ (1963), İzmit-Sapanca-Gölcük Civarının Hidrojeolojik Etüdü raporunda; Sapanca Gölü'nün güneyinde koyu renkli şistlerin açık renkli mermerler ihtiva ettiği, güneydeki yüksek tepelerde rekristalize kireçtaşlarının bulunduğu ve bu birimlerin muhtelif kırık ve çatlak ihtiva ettiği belirtilmiştir. Şistlerin kırıklı, çatlaklı yapısına rağmen yeraltı suyu potansiyeli açısından zayıf olduğunu ancak mermer ve rekristalize kireçtaşlarının yeraltı suyunu çok derinlere ilettiğini ve bölgede önemli yeraltı suyu deposu oluşturduğu belirtilmiştir. Yeraltı suyu ihtiva eden diğer önemli akifer formasyonun ise Sapanca'dan Maşukiye'ye kadar uzanan, tepeliklerin eteklerinde gelişen birikinti konilerinin su potansiyeli açısından zengin olduğunu ve konilerin ova ile birleştiği noktalarda 5-30 lt/s debideki kaynakları oluşturduğunu belirtmişlerdir.

DSİ (1965), İzmit-Sapanca-Gölcük Ovalarına ait Hidrojeolojik Seyahat Raporu'nda, Sapanca'dan Maşukiye'ye kadar uzanan hatta gelişen birikinti konilerinin yeraltı suyu açısından zengin olduğu belirtilmiştir. Maşukiye bölgesinde birikinti konisinin kalınlığını belirlemek ve Sapanca Gölü'nün batıdan beslenme durumunu ortaya koymak amacıyla 50-75 m derinlikte açılacak kuyu yeri önerilmiştir.

Özarslan (1974), Hidrobiyoloji Araştırma Enstitüsü'nün 1950-1960 döneminde yapmış olduğu araştırmada, Sapanca Gölü'nün derinliğinin 52 m kumsal bölgeler hariç dip kısmının gri renkli balçıkla kaplı ve göl suyunun değişik tonlarda yeşil olduğu belirtilmiştir.

Sarı ve Kurt (1975), Adapazarı-Sapanca-Geyve-Akyazı çevresindeki maden prospeksiyonu amaçlı çalışmalarında 394 km^2'lik bir alanda metalik ve endüstriyel hammadde oluşumlarını incelemiştir. Sapanca-Nailiye yöresinde önemli rezervlere sahip talk yatakları ile Sapanca-Şerefiye manyezit oluşumlarından ve Maşukiye bölgesindeki kireçtaşlarının ayrışması, bozuşması sonucunda çok geniş alanda yayılım gösteren 8-10 km kalınlıkta kırmızı renkli terrarosa şeklinde yığışmış toprakların varlığından bahsetmiştir. Bu toprakların %5,8 Fe, %19,16 Al içeriklerinden yararlanılarak tuğla toprağı olarak işletilebilecek özellikte olduğunu belirtmiştir.

Yücetaş (1975), Sapanca Gölü'nde fitoplanktonun yıllık tezahür ve yayılışlarını incelemiştir. Gölde yaptığı çalışmada pelajik diyatomelerin, tüm fitoplanktonun %60'ını teşkil ettiğini ve bu gruptan *Melosira, Cyclotella, Antheya* ve *Sybedra*'nın her mevsimde bulunduğunu saptamıştır.

Ketin (1976) ve Şengör (1979), Sapanca Gölü'nü kuzey kolunun iki segmenti arasında kalan Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Orta-Üst Miyosen'de oluştuğunu ifade etmişlerdir.

Yılmaz (1977), Şengör ve Yılmaz (1981), Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun kuzey ve güneyinde kalan tektonik birliklerin jeolojik evrimini incelemişler ve Sapanca Gölü'nün güneyinde Sakarya Kıtasına ait kaya birimlerin varlığından bahsetmişlerdir.

DSİ (1982), Sapanca Gölü Hidrolojisi Özet Raporu, isimli çalışmada meteorolojik veriler, göle katılan ve gölden ayrılan suların akış rejimleri, debileri, su kalite ve kirlilik parametreleri değerlendirilmiştir. Gölün bütçe hesabı oluşturulurken göl seviye gözlem değerleri ile göl ayağından (Çark suyu) çıkan ve diğer amaçlarla gölden çekilen su değerlerine göre göl verimi hesabı yapılmıştır. Sapanca Gölü'nün 1963-1980 yılları arasındaki 18 yıllık verilerine göre gölün verimi $177x10^6$ m^3/yıl olarak belirlenmiştir.

Ongan (1982), Güney Marmara Bölgesi İç Su Ürünlerini Geliştirme ve Su Kaynaklarının Envanteri yayınının Sapanca Gölü ile ilgili bölümünde, göl suyunun o tarihlerdeki fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir.

Artüz (1983), Sapanca Gölü'nün hâkim fitoplankton grubunun, gölün rengini de belirleyen ve fitoplanktonun %97'sini oluşturan *Bacillanophyceae* olduğunu belirlemiştir.

DSİ (1983), Sapanca Gölü Hidroloji Raporu'nda, Gölün özelliklerine ait bilgiler ve gölden optimum fayda sağlanabilmesi için hidrolojik açıdan yapılması gerekenler öneri olarak verilmiştir. Gölün 29,90 m regülatör eşik kotu ile 31,50 m su kotu arasındaki $69x10^6$ m^3 aktif hacimdeki kullanılabilir verimin uygunluğu araştırılmış, bu verilerle kot-alan ve hacim arasındaki ilişkiler incelenerek çeşitli amaçlar için gölden çekilebilecek maksimum su miktarları belirlenmiştir. Göl giriş akımlarının sağlıklı bir şekilde ölçümünün yapılması, göl yağış alanını ve gölü temsil edecek meteoroloji istasyonlarının kurulmasını ve Sapanca Gölü ile ilgili bilgilerin ve yetkilerin bir merkezde toplanması gerekliliği üzerinde durulmuştur.

DSİ (1984), Sapanca Gölü Kirlilik Araştırması Raporu'nda, Sapanca Gölü'nün kirlenme düzeyinin yüksek olmadığı, göl su kalitesinin ölçülen parametreler açısından içme-kullanma, endüstri suyu sağlanması ve su ürünleri üretimi amaçlarıyla kullanımına uygun olduğu ve gölün halen oligotrofik yapıya sahip olduğu saptanmıştır.

Yiğit ve Müftügil (1984), Sapanca Gölü'nün su kirliliğini ve besleyicilerin su kalitesi üzerindeki etkilerini ortaya koyan limnolojik çalışmada, göl suyunun içme ve çeşitli amaçlarla (sanayi, tarım) kullanılabilecek nitelikte olduğunu saptamıştır.

Okay (1989), Tectonic Units and Sutures in The Pontides, Northern Turkey isimli çalışmasında, Pontidleri Istıranca Zonu, İstanbul Zonu ve Sakarya Zonu olmak üzere üç zona ayırmıştır, Sapanca Gölü ve çevresinin yer aldığı bölgeyi Sakarya Zonu içinde göstermiştir.

Oktaş ve diğ., (1989), Devlet Su İşleri'nin, Su Kalite Kontrolleri ve Örnek Çalışmalar: Sapanca Gölü ve Drenaj Alanı konulu çalışmasıdır. Araştırmacı, Sapanca Gölü'nü besleyen 9 derede, gölde seçilen 13 noktada ve göl çıkışı olan Çark Suyu' nda mevsimsel örneklemeler yapmış ve bu örneklerin analiz sonuçlarını önceki yapılan çalışmalar ile değerlendirerek değişimleri ortaya koymuştur.

Ceylan (1990), Gölün hidrolojik özelliklerini bir bütün içerisinde ele almış özellikle gölün beslenmesi, gölden çekilen su miktarları ve seviye değişimlerini ayrıntılı olarak incelemiştir.

Morkoç ve Tuğrul (1991), Sapanca Gölü'nün limnolojik özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, göldeki fosfat derişiminin düşük olduğunu, termoklin tabakasının altında dinamik bir biyolojik sistemin gözlendiğini, Trofik State Indeks (TSI) değerlerinden gölün oligotrofik özellikte olduğu belirtilmiştir.

Salihoğlu (1991), Sapanca Gölü ve havzasında su kalitesinin araştırılmasını amaçlayan bu çalışmada seçilen su örnekleme istasyon noktalarında, fiziksel, kimyasal, hidrobiyolojik ve mikrobiyolojik ölçümleri yorumlamış ve sonuç olarak, göl ve havzasındaki suların her türlü amaca uygun olarak kullanılabileceğini belirlemiştir. Göldeki kirlilik düzeyi, tabakalaşma ve alt-üst olma olaylarını ortaya çıkarmaya çalışmış ve göl suyunun I. sınıf su kalitesinde olduğunu, ısı ve ışık geçirgenliğine bağlı olarak kış aylarında ortamdaki silis miktarının arttığını, azot ve fosfor değerlerinin ilkbahar ve yaz aylarında azaldığını belirtmiştir.

Bargu (1992), Sapanca Gölü çevresindeki Orta Pleyistosen çökellerinin stratigrafisi, yakın dolayındaki çökellerle karşılaştırılmış ve tektonik özellikleri değerlendirilmiştir.

Yalçın ve Sevinç (1993), Sapanca Gölü'ne Besi Maddesi Yüklenmesi ve Gölün Trofik Durumu isimli çalışmalarında, gölün N ve P miktarlarındaki değişimi tayin edilmiştir. Mezotrofik sınırına yaklaşan göl suyunun kirlenmesinin önlenmesi için alınması gereken tedbirler saptanmıştır.

Ertürk (1994), Sapanca Gölü'nün dip çökellerinde yaptığı incelemede gölü etkileyen granülometrik, jeokimyasal ve mineralojik süreçleri aydınlatarak kirlenmeye ve su kullanımına etkilerini belirlemiştir. Göl temiz, az katı partiküllü, bol oksijenli, az organik madde üreten, kendi ekolojik dengesi içinde kendini yenileyen oligotrofik göl tipi su kaynağı olduğu ve bir takım önlemlerin alınmasıyla, çevre nüfusunun göl suyundan içme ve kullanma amaçlı faydalanabileceğini vurgulamıştır.

Yılmaz ve diğ., (1994), yapmış oldukları çalışmada Kuzeybatı Anadolu'da Armutlu Yarımada'sı ve Sakarya bölgesinin jeolojik evrimini incelemişler, bölgeyi kuzeyden güneye doğru, Rodop-Pontid fragmanı, İç Pontid Okyanusu ve Sakarya Kıtasına ait birlikler olmak üzere birbirinden farklı tektonik birliklerin bulunduğunu ortaya koymuşlardır. Sapanca Gölü ve çevresini, bu birlikler içindeki Rodop-Pontid fragmanında göstermişlerdir.

Bakan (1995), Sapanca Gölü Ekosistemi Çalışması: Sediman Karakterizasyonu ve Su Kalite Modellemesi ismli doktora çalışmasında, Sapanca Gölü yüzeysel sedimanlarının temel fiziksel, jeokimyasal özellikleri ve gölün trofik durumunu belirlemek amacıyla sediman verilerini yeni metotlarla incelemiştir. Göl su kalitesini modellemek ve gelecekteki eğilimini tahmin etmek için, göle bir sonlu fark modeli uyarlanmış ve Sapanca Gölü çevresel yönetimi çalışmalarında kullanılmak üzere gölün şu anki mevcut durumu benzetilmeye çalışılmıştır.

Esenli (1995), Sapanca Gölü dere suları ve göl dip sedimanlarını mineralojik ve kimyasal açıdan belirlemeye yönelik çalışmasında göl ve dere sularındaki kirletici unsurları araştırmış, dip çamurlarının mineralojisi, tane boyu dağılımı ile ağır metallerin konsantrasyonları arasındaki ilişkileri saptamıştır.

Öktem (1996), Sapanca Gölü ve Havzası'nın Hidrojeolojik ve Jeokimyasal İncelemesi isimli çalışmasında, Sapanca Gölü'nün dip çökellerinde minerolojik ve jeokimyasal incelemelerde bulunmuş, sedimanların düşük toplam organik karbon

içeriklerinin oligotrofik göllere ait sınırlar dâhilinde olduğunu belirlemiştir. Birtakım önlemlerin alınmasıyla çevre nüfusun göl suyundan içme ve kullanma amaçlı faydalanılabileceğini belirtmiştir.

Öktem (1996), Sapanca Gölü su kalitesi ve ekosistem yönetimi için bilgisayar modellemeleri kullanmıştır.

Karcı (1997), İstanbul iline içme ve kullanma suyu temini amacıyla Sapanca Göl Havzası'nda yaptığı çalışmaları kapsayan yüksek lisans tez çalışmasıdır.

Doğan (1998), Yuvacık (İzmit)–Sapanca (Adapazarı) arasında kalan bölgeyi stratigrafik, sedimantolojik ve neotektonik açıdan incelemiştir. İnceleme alanının 1/25.000 ölçeğinde jeoloji haritasını yaparak bölgedeki kayaçları litostratigrafi esasına göre ayırtlamış ve birbirleriyle olan dokanak ilişkilerini, her birimin litolojik özelliği ve oluşma ortamları açısından değerlendirmiştir.

Tanık ve diğ., (1998), Sapanca Gölü Havzasındaki kirletici kaynaklarını araştırmış, gölün biyolojik oksijen ihtiyacı, N, P, pestisit ve gübrelerin gölde dağılımını incelemiştir. Gölün Avrupa Topluluğu standartlarına göre II. sınıf kalitede olduğunu ve su kalitesindeki duraylılığı sağlamak için uzun ve orta vadede kontroller yapılması gerektiğini ortaya koymuştur.

Velioğlu (1998), Sapanca Gölü ve Havzası üzerinde yapılmış kirlilik araştırmalarının sonuçlarını değerlendirerek, Sapanca Gölü'nün durumunda herhangi bir iyileşme olmadığını ortaya koymuştur. Raporda ağırlıklı olarak Sapanca Gölü'nün ve havzasının korunması ile ilgili öneri paketi üzerinde durulmuş, pakette önerilen konular üzerine yeteri kadar gidilmediği ve belli konuların ele alınmasında geç kalındığı sonucuna varılmıştır.

Ceylan (1999), Sapanca Göl Havzası'nın yağış ve rölyef özelliklerini belirlemiştir. Havzayı rölyef özellikleri bakımından farklılık arz eden 3 farklı alanda incelemiştir. Bu alanları Samanlı dağları, Kocaeli platosu ve İzmit-Sapanca tektonik oluğu olarak belirlemiştir. Havzadaki yağış değerlerinin Sapanca'dan batıya ve kuzeye doğru gidildikçe azaldığını, Samanlı dağlarının kuzey yamaçlarının yükseltiye bağlı alarak önemli bir artış gösterdiğini belirlemiştir.

Şişman (1999), Sapanca TEM Otoyolu civarında seçilen bölgelerden alınan toprak örneklerini bazı ağır metaller (Pb, Cu, Zn, Ni, Cr, Cd) açısından incelemiştir. İncelenen örneklerin çinko, nikel ve krom açısından sınır değerin altında, kurşun ve bakır açısından ise bazı bölgelerde sınır değerin üzerinde sonuçlar elde etmiştir.

Yalçın ve Sevinç (2001), Sapanca Gölü'nün güneyinde bulunan TEM otoyolunun göle olan etkileri araştırılmıştır. 1991-1999 yılları arasında göl suyunda otoyol kaynaklı ağır metallerin (Pb, Fe ve Zn) derişimleri ve değişimleri incelenmiştir. Elde edile sonuçlar göldeki Zn seviyesinin sınır değerinin altında olduğu; Pb ve Fe konsantrasyonlarında artış gözlendiği ve zaman zaman Pb ve Fe derişimlerinin sınır değerlerin üstüne çıktığı belirlenmiştir.

Aksoy (2002), İzmit-Sapanca Arasının Genç Tektonik ve Paleosismolojik Özellikleri adlı yüksek lisans tezinde İzmit-Sapanca arasının neotektonik özelliklerini ortaya koymuştur. Bölgenin tarihsel deprem etkinliği, faylanma niteliği, faylanmaya bağlı gelişen yapılar ve jeomorfolojik özellikler araştırılmıştır.

Yıldırım (2002), Kuzey Anadolu Fay Sisteminin Sapanca Gölü Geçişi ve Yapısal Etkileri isimli yüksek lisans tezinde Kuzey Anadolu Fayının Sapanca Gölü içindeki konumu ve göl morfolojisi üzerindeki etkilerini araştırmış ve göl içindeki taraçaları saptamıştır.

Oktaş ve diğ., (2002), Adapazarı ilinin içme suyu kaynağı olan Sapanca Gölü su kalitesini incelemiş ve gölün kirlenme düzeyinin halen yüksek olmadığını ortaya koymuştur.

Timur ve Aksay (2002), Adapazarı G24 paftasının jeolojik etüdü yapılarak 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası oluşturulmuştur.

Dündar ve diğ., (2003), Sapanca Gölü'ne akan derelerin kirlilik taşıyıp taşımadıklarını belirlemeye yönelik yapılmış bir çalışmadır. Sapanca Gölü'ne akan derelerdeki bazı elementlerin 17 Ağustos 1999 Marmara depremi öncesi ve sonrası karşılaştırmalı analizinde; İstanbul, Mahmudiye ve Kuruçay derelerindeki kurşun ve kadmiyum birikiminin deprem sonrasında arttığı, bakır bakımından standartlara uyduğu, çinko ve demir bakımından deprem öncesi göle kirlilik taşıdığı gözlenirken

deprem sonrası bu değerlerin düştüğü belirlenmiştir. Gölün tek deşarj noktası olan Çark Deresi'nde kadmiyum dışındaki metal kirliliğinin standartların altında kaldığı belirtilmiştir.

Şahin ve Yıldırım (2005), Sapanca Gölü'nü temsil eden 5 farklı lokasyonda örneklemeler yapılarak molluska faunası belirlenmiştir. Örnek noktalarından dip suyu sıcaklığı, çözünmüş oksijen, pH, bulanıklık ölçümleri yapılmıştır. Gölde Gastropoda sınıfına ait 12 tür, Bivalvia sınıfına ait 4 tür olmak üzere toplam 16 tür belirlenmiştir.

Altuğ (2006), Sapanca Gölü ve gölü besleyen derelerin bakteriyolojik kirlilik seviyelerini ve bakteriyolojik metabolik aktivitelerini belirlemeye yönelik çalışmalar yürütmüşlerdir. Bakteri örneği olarak total koliformların alt grubu olan Fekalkoliformlar ve Fekalkoliformların en iyi örneği olan *Escherichiacoli* seçilmiştir. Fekalkoliform değerleri bakımından Sapanca Gölü'nün 4.sınıf su kalite özelliğine sahip olduğu belirtilmiştir.

Gürbüz ve Gürer (2006), Sapanca Gölü'nün Geç Pliyosen'de asimetrik bir çek-ayır havza olarak gelişen İzmit-Sapanca koridorunun üzerinde bu havzayı biçen fay segmentlerince Orta-Geç Pleyistosen'de ayrı bir çek ayır-havza olarak geliştiği belirtilmiştir.

Duman ve diğ., (2006a), sezonsal olarak Sapanca Gölü'nün yüzey sedimanlarındaki ağır metal (Pb, Cr, Cu, Mn, Zn, Ni ve Cd) değişimlerini ortaya koymuştur. Çalışmalarında sedimanlardaki Pb, Cr, Cu, Mn ve Zn derişimlerinin zaman zaman sınır değerleri aştığı; Ni ve Cd derişimlerinin ise sınır değerlerin altında olduğu ve sezonsal olarak ciddi bir farklılık göstermedikleri tespit edilmiştir.

Duman ve diğ., (2006b), Sapanca Gölü'nde bulunan *Potamogetonlucens* adlı bitkinin yapısındaki ağır metal seviyelerini (Pb, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn, ve Cd) araştırmıştır. Bulunan metal seviyeleri şu şekilde sıralanmıştır: Mn>Zn>Ni>Cu>Cr>Pb>Cd.

Açıkgöz (2008), Sapanca Gölü'nü besleyen ana derelerin (Aygır, Kasabasın, Yanık, Kurtköy, Mahmudiye, İstanbul, Eşme ve Maden) hidrojeokimyasal incelemesi yapılarak göl drenaj alanı içindeki antropojenik kirletici unsurları, derelerin su

kalitesi üzerindeki etkileri ve seviyeleri tespit edilmiştir. Derelerin su kalitesi Çevre ve Orman Bakanlığı Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kriterlerine göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflamada fiziksel ve inorganik kirletici parametreleri esas alınmıştır.

Bayrak (2008), Sapanca Gölü'nün optimum kullanım bütçesini belirleyerek bölgenin yetkili su kuruluşları olan ADASU (SASKİ) ile İSU'nun gölden aldıkları su miktarlarını ortaya koymuştur. Sapanca Gölü'nden çekilecek su miktarının Sakarya ve Kocaeli'nin kenar kıyı şeridi veya yüz ölçümlerine göre yeniden belirlenmesi gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca, Sapanca Gölü Havzası için Ortak Havza Yönetimi veya Yönetmeliği oluşturulmasının önemi üzerinde durmuştur.

Çakır (2008), Sapanca Gölü bütçe hesabı için mevcut meteorolojik ve hidrolojik verileri derleyerek gölün mevcut bilançosunu ortaya koymuştur.

Gürbüz ve Gürer (2008a), Sapanca Gölü ve yakın çevresinde, Kuzey Anadolu Fay Sistemi'ne ait değişik segmentlerin Pliyo-Kuvaterner'de ki tektonik aktivitelerini ve morfolojide oluşturdukları deformasyonlarını saptamak için jeomorfik, jeomorfometrik ve batimerik metotlarla yaklaşımlarını içeren bir çalışma yapmışlardır.

Gürbüz ve Gürer (2008b) Sapanca Göl Havzası'nda tektonizmanın ve antropojenik etkenlerin yüzey çökelleriyle etkileşimini araştırmıştır. Göl içindeki sediman taşınımının ve çökeliminin doğal faktörlere ek olarak dere yatakları üzerinde inşa edilen seddeler ve göl suyunu tahliye eden Çarksuyu regülâtörü tarafından kontrol edildiği belirlenmiştir. Göl dibinden alınan numuneler ile göle ait istatistiksel parametreleri hesaplamış, bunlarla dağılım ve bileşim haritaları hazırlayarak göl içi dinamiklerini yorumlamıştır.

Gürbüz ve Gürer (2008c), Türk Deniz Araştırmaları Vakfı'nın Sapanca Gölü'ne Bilimsel Açıdan Bakış konulu kitabında Sapanca Gölü'nün oluşumu, beslenme havzasının hidrolojisi, jeolojisi ve depremselliği ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Schwab ve diğ., (2009), Kuzey Anadolu fay hattı üzerindeki tarihsel depremleri belirlemek amacıyla Sapanca Gölü'nde Paleolimnolojik çalışmalar yapmıştır. Gölün derin taban kesiminden alınan sediman örneklerini ince kesit mikroskopi, tane büyüklüğü dağılımı, magnetik duyarlılık, jeokimyasal inceleme ve 210Pb ve 137Cs açısından değerlendirmiştir. Bu veriler ile 1957, 1967 ve 1999 depremleri için önemli bulgular saptamıştır. Paleolimnolojik çalışmalar, su kimyası, deprem vb. olaylar sonrası süreçlerin sedimantasyonu etkileyen faktörler olduğunu belirtmiştir. Yapılacak detaylı çalışmaların bölgedeki bin yıllık tarihsel depremler için önemli veriler sağlayacağını belirtmiştir.

Çakır (2010), Sapanca Gölü civarında yoğun yapılaşmadan kaynaklı evsel atık su, sanayi atık suları ve yüzeysel akış sularına ilişkin kontrol teknolojilerini incelemiştir. Geçmiş yıllar nüfusları ve gelecek yıllar projeksiyonu, havzanın kanalizasyon durumu, sanayi atık suları ve kirlilik sebeplerini ortaya koymuştur.

Kaçmaz (2010), Sapanca Gölü Havzası'nda Arazi Kullanımı ve Mekânsal Değişim isimli çalışmasında; Sapanca Gölü Havzası'nın arazi kullanım yapısı ve 1990-2005 yılları arasında geçirmiş olduğu mekânsal değişimi incelemiştir.

Macit (2010), Sapanca Gölü'nün kirlilik durumunu mikrobiyolojik ve kimyasal açıdan araştırmıştır. Bulunan değerleri, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ve Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Standartları ile karşılaştırmıştır. Sapanca Göl suyunun mikrobiyolojik ve bazı kimyasal parametreler açısından standartların üzerinde olduğunu tespit etmiştir.

TÜBİTAK (2010), Tübitak Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projelerini Destekleme Programı dâhilinde gerçekleştirilen Sapanca Gölü'nün Öncelikli Kirlilik Kaynaklarına Özgü Kontrol Teknolojilerinin Araştırılıp Geliştirilerek Göl Havzası İçin Uyarlanması konulu projesidir. Sapanca Gölü Havzası'nın jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal çalışmalarının yanı sıra, Sapanca Gölü'nün ve havzadaki derelerin su kalitesi açısından detaylı araştırıldığı bir çalışmadır. Sapanca Göl Havzası için CBS alt yapısı oluşturulmuş, havzadaki kirlilik kaynaklarının giderimine yönelik kontrol teknolojileri geliştirilmiştir. Gölün besin elementi girdilerine genel tepkisinin öngörülmesi amacıyla kavramsal ve su kinetiği modeli oluşturulmuştur.

Akbayram (2011), Pontid'lerin parçaları olan İstanbul ve Sakarya Zonları'nı birbirinden ayıran Pontid-İçi Kenedi'nin stratigrafik ve jeokronolojik evrimi çalışılmıştır. Sapanca Gölü güneyindeki birimlerin stratigrafik özelliklerini belirlemek amacıyla metamorfik birimlerden radyojenik yaş tayinleri yaparak çökel birimlerden yeni paleontolojik veriler elde etmiştir. Sapanca Gölü güneyinde birbirlerinden dik tektonik hatlarla ayrılan üç ana metamorfik tektonostratigrafik birim belirlemiştir. Bu birimler, Proterozoyik yaşlı temeli oluşturan Pamukova Kompleksi, Sapanca Kompleksi ve Sapanca Kompleksi'nin tektonik olarak üzerlediği Maşukiye Grubu olarak tanımlamıştır.

Yaltırak ve diğ., (2011), Çalışmasında İznik ve Sapanca Gölleri'nin Kuvaterner'de Karadeniz ve Marmara Denizi ile bağlantılı olabilecek su yollarının varlığını incelemiştir. Daha önce yapılmış çalışmalardan elde edilen denizel fosiller bölgesel morfotektonik özellikler, küresel deniz suyu değişimleri, Sapanca bölgesinin tektonik yükselimi, limnolojik ve sedimantolojik verilerin tamamı değerlendirilmiştir. İznik-Sapanca koridoru boyunca Sapanca Gölü ve Sakarya nehrinin, Marmara ve Karadeniz ile arasında bulunan muhtemel suyollarının son 500 bin yıl öncesinde oluşmuş olması için bir engel bulunmadığı kanısına varılmıştır.

Ay (2012), Sapanca Göl Havzası'nın bütün coğrafi özelliklerini ve bu coğrafi özelliklerin birbiri ile etkileşimlerini incelemiştir. Çalışmada, Sapanca Göl Havzası'nın fiziki, beşeri ve ekonomik potansiyeli belirlenmiştir.

Demir (2012), Sapanca Gölü'nün iklim faktörleri ve göl kotu seviyesinin değişimi arasında senaryolar kurmuştur. Sakarya Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan veriler çeşitli senaryolar altında yapay sinir ağlarına (YSA) tabi tutulmuş ve en iyi sonucu veren model belirlenmiştir. Ayrıca Sapanca Gölü'nü besleyen yan derelerin debi ve su kalite parametreleri incelenmiş ve Sapanca Gölü'ne olan muhtemel etkileri belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışma 2008 yılı Ekim ayı ile 2015 Mayıs ayları arasındaki arazi, laboratuvar ve büro çalışmalarının bir bütünü olarak oluşturulmuştur. Bu bölümde jeoloji, hidroloji, hidrojeoloji, göl sığ tabanında sızıntı ölçerler (seepage meter) ile yapılan deneysel çalışmalar, yüzey ve yeraltı suyu hidrojeokimyası, izotop jeokimyası ile kaynak, kuyu ve göl çalışmalarında örnek alımı ile ilgili kullanılan yöntemler açıklanmıştır.

2.1. Jeoloji

Hidrojeoloji amaçlı yapılan çalışmalarda araştırma alanının jeolojik özelliklerinin ayrıntılı olarak tanımlanması büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla araştırma alanı olan Sapanca Havzası'nın 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası oluşturulurken önceki çalışmalar ve MTA'nın (Aksay ve Timur, 2002) yapmış olduğu haritalar ayrıntılı olarak incelenmiş ve arazi gözlemleri ile yeniden değerlendirilerek revize edilmiştir.

Ayrıca, 2013 yılı Temmuz ve Eylül aylarında Sapanca Havzası'nın özellikle güney kesimlerindeki birimleri üzerinde, fayların belirlenmesine yönelik arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. Arazide belirlenen fayların geometrik özellikleri (doğrultu, eğim, kayma açısı) düzlemler üzerinden ölçülmüştür. Fay ve kayma verilerinden fayların hareket yönü ve türleri tespit edilmiş, elde edilen veriler sayısal jeoloji haritası üzerine işlenmiştir (Şekil 2.1).

Bu çalışma için jeoloji ve hidrojeoloji haritalarına altlık oluşturması amacıyla 1/25.000 ölçekli G24-a3-b4-c1-d1-d2-d3-d4 paftaları kullanılmıştır. Topoğrafik paftaların herbiri bilgisayar ortamına aktarılmış ve Global Mapper programı ile en az dört noktadan yararlanılarak UTM (Universal Transverse Mercator) projeksiyonu ile WGS84 Datumu ve 36. Zon kullanılarak sayısallaştırılmıştır.



Şekil 2.1. Sapanca Havzası'nın güneyindeki fayların tespiti ve geometrik özelliklerinin belirlenmesi

Hazırlanan sayısal haritalar ve çizimler Windows işletim sistemi tabanlı bir bilgisayarda Global Mapper-15, Canvas-12 ve Corel X5 yazılımları kullanılarak hazırlanmıştır. Sayısal haritaların oluşturulması için DEM görüntüleri altlık olarak kullanılmış, sayısal haritalar için ihtiyaç duyulan koordinat verileri UTM (Universal Transverse Mercator) koordinat sistemine göre hazırlanmıştır.

2.2. Hidroloji

Bu çalışmada hidrolojik haritaların oluşturulması amacıyla Sayısal Yükseklik Haritaları oluşturulmuştur. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) olarak bilinen üç boyutlu gösterim şekli yeryüzünün topoğrafik haritasından elde edilen bir kabartma (relief) haritadır. Sayısal yükseklik modelleri, su kaynakları ile ilgili çalışmalarda eğim ve yön (bakı) haritalarının, vadi tabanları ve sırtlarının, drenaj ağlarının ve drenaj ağlarının büyüklük, uzunluk, eğim gibi özelliklerinin, havza ve alt havza özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Sapanca Havzası'nın Drenaj ağlarının çıkarılması ve havza sınırının belirlenmesinde River Tools 3.0.3 programı ile 90 m çözünürlüklü SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) sayısal yükseklik haritaları (USGS, 2014) kullanılmıştır.

Sapanca Havzası'nın potansiyel-gerçek buharlaşma değerlerini hesaplamak ve deneştirmeli meteorolojik su bilançosunu oluşturmak amacıyla Sapanca'da ki 1690 numaralı istasyona ait uzun yıllar (1970-2007) ortalama yağış ve sıcaklık verileri T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Sakarya Şube Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

Sapanca Gölü'nün su bütçesi hesabı için gerekli olan veriler (derelerin debi değerleri, kurumların gölden çekim miktarları ve Çarksuyu'ndan yapılan tahliye) TÜBİTAK 107G013 (2010) projesi kapsamında DSİ (Devlet Su İşleri), SASKİ (Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü) ve İSU'dan (İzmit Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü) temin edilmiştir.

2.3. Hidrojeoloji

Havzanın kuzey, doğu ve batı kesimleri hidrojeolojik açıdan az geçirimli ve geçirimsiz birimlerden oluşmaktadır. Havzanın güneyi ise geçirimli birimlerden oluşmaktadır. Sapanca Gölü'nün yüzey ve yeraltı suyu beslenimi büyük oranda havzanın güneyinden sağlanmaktadır. Arazi çalışmaları havzanın güney kesimindeki Sapanca, Kırkpınar, Kurtköy ve Yanık bölgelerinin bulunduğu yüksek ormanlık alanlar içindeki kaynaklar ile sondajların bulunduğu Sapanca Ovası üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Havzanın güneyindeki kaynaklar oldukça sık bir ormanlık alan içinde yer almaktadır. Kaynakların bulunduğu bölgelere ulaşım, arazi araçları ile sağlanmaktadır. Birçok kaynak noktasına ulaşım araçlarla sağlanamadığından 2-3 km uzaklıktaki mesafelere orman içinden yürüyerek ulaşılmıştır (Şekil 2.2). Bu sebeple kaynaklarda yapılan tespit ve örnekleme çalışmaları her dönem için en az 3 hafta sürmüştür. Bu bölgedeki kaynakların tespit edilmesi ve periyodik ölçümlerin yapılması Sakarya Büyükşehir Belediyesi Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi Sapanca Şube Müdürlüğü çalışanlarının destekleriyle gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.2. Sapanca Havzası'nın güneyindeki ormanlık alan içinde gerçekleştirilen arazi çalışmalarından örnekler

Sapanca Havzası içinde çalışmanın amacına ve ölçüm yapmaya uygun kuyu ve kaynak yeri belirleme çalışmaları 2008 yılı Ekim-Kasım ayları içinde yapılmıştır Bu amaçla havzanın güneyini jeolojik ve hidrojeolojik açıdan temsil edecek 22 kaynak ve 24 kuyu belirlenmiştir. Sapanca Havzası içinde, Maşukiye, Kırkpınar-Kurtköy ve Sapanca hattı üzerinde belirlenen kaynaklar ve bu kaynaklara ait maslak ve depo görüntüleri Şekil 2.3, Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'te sunulmuştur.



Şekil 2.3. Maşukiye bölgesindeki kaynaklardan ve maslaklarından görünüm



Şekil 2.4. Kurtköy-Kırkpınar bölgesindeki kaynaklardan ve maslaklarından görünüm



Şekil 2.5. Sapanca bölgesindeki kaynaklardan ve maslaklarından görünüm

İnceleme alanında ki jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre ayırtlanarak akifer özelliği gösteren birimler tanımlanmıştır. Bu birimler su bulundurabilme ve geçirimlilik özelliklerine göre değerlendirildikten sonra havzanın hidrojeoloji haritası oluşturulmuştur.

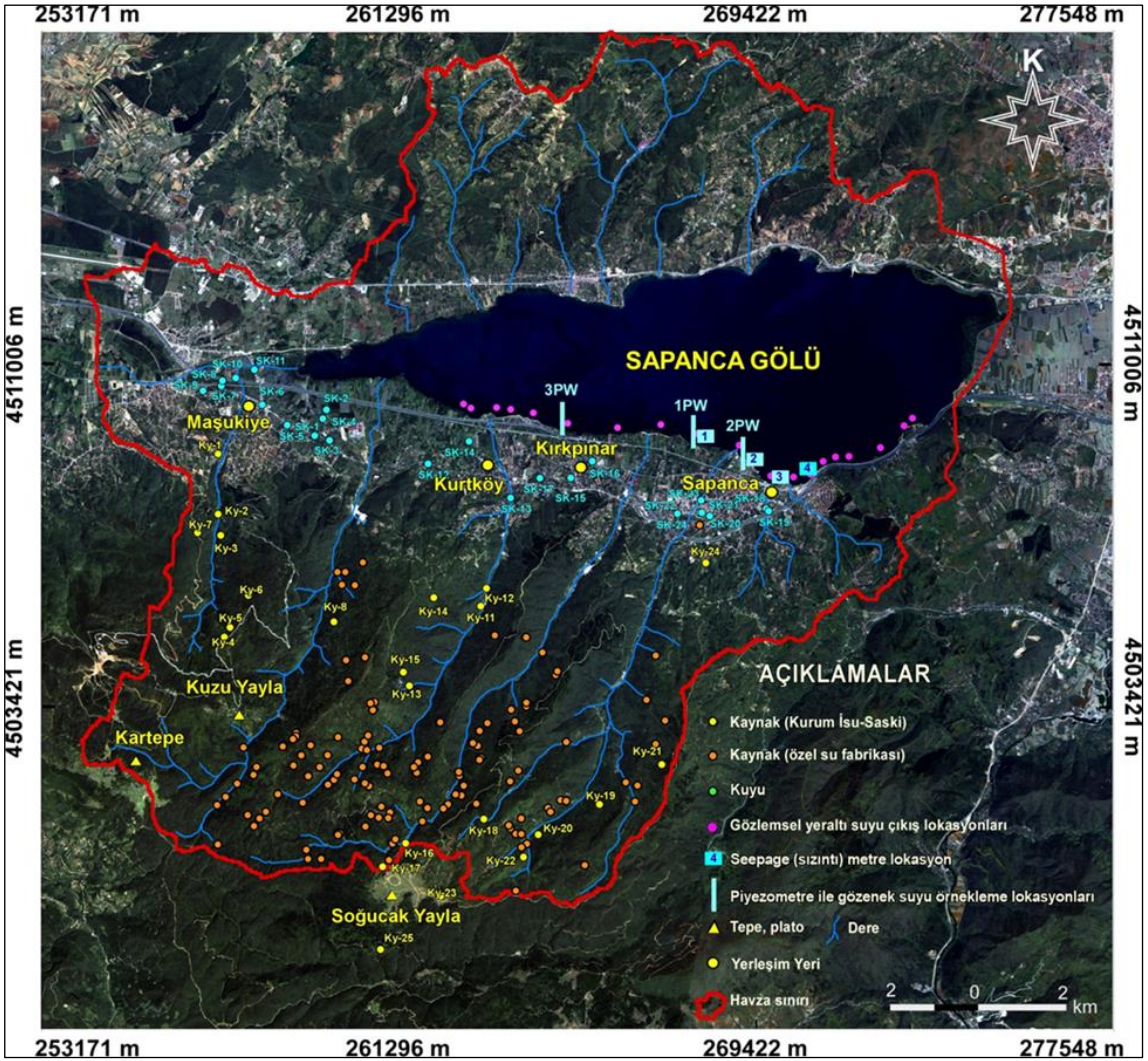
Havzanın güneyindeki yapısal kontrollü yeraltı suyu dolaşım mekanizmasını belirlemek amacıyla arazi çalışmalarından elde edilen veriler ile DEM (Digital Elevation Model), uydu görüntüleri ve topoğrafik haritalardan faydalanılarak bölgenin güney kesiminin çizgisellik haritası oluşturulmuştur.

Sapanca Ovası içinde incelenen 24 sondaj kuyusunun yeraltı su seviye değerleri Mayıs 2009-Mayıs 2010 ayları boyunca 10 ay düzenli olarak ölçülmüş ve ovanın yeraltı su seviye haritaları hazırlanmıştır. Haritalar yardımıyla yeraltı suyu akım yönü ve mevsimsel su seviye değişim değerleri tespit edilerek yorumlanmıştır. Kuyuların su seviye değişimleri KLL tipi kuyu metre ile ölçülmüştür (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Sapanca Ovası sondaj kuyularında yapılan su seviye ölçümleri

Sapanca Havzası'nda örnekleme yapılan tüm kaynak, kuyu, sızıntı suyu, gözenek suyu ve gölde yapılan gözlemsel çalışmalardan elde edilen lokasyonların koordinatları GPS ile UTM koordinat sisteminde ölçülmüş ve alınan veriler gerekli sayısal haritalar üzerine işlenmiştir. Ayrıca havza içinde incelenen ve örnekleme yapılan tüm lokasyonlar ALOS uydu görüntüsü üzerinde Şekil 2.7 ve Ek-1'de sunulmuştur.



Şekil 2.7. Sapanca Havzası içinde kaynak, kuyu ve göl tabanında gözlenen yeraltı suyu çıkış lokasyonlarını gösterir ALOS uydu görüntüsü

2.4. Sapanca Gölü'nde Seepage Metre (Sızıntı Ölçer) Çalışmaları

Sapanca Gölü ve alüvyon arasındaki beslenim-boşalım ilişkisinin ortaya konması ve miktar açısından değerlendirilmesi amacıyla gölün güney kıyısı boyunca bazı gözlemsel ve deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Öncelikle, 2012 yılı Ekim ayı içinde havzanın güneyindeki alüvyondan, göle olan yeraltı suyu boşalımlarının tespit edilmesi amacıyla gölün kıyı hattı üzerinde SASKİ'ye (Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi) ait tekne ile lokasyon belirleme çalışmaları yapılmıştır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Sapanca Gölü'nde güney kıyı hattı üzerinde yeraltı suyu boşalımlarını belirleme çalışmaları

Bu çalışma ile gölün güney kıyı hattı üzerinde göl tabanından yeraltı suyu çıkışlarının gözlendiği 21 lokasyon belirlenmiştir (Şekil 2.9). Bu lokasyonların koordinat bilgileri Tablo 2.1'de sunulmuştur.

Sapanca Gölü güney kıyı hattı üzerinde belirlenen yeraltı suyu çıkışlarının miktar ve kalite açısından ortaya konması amacıyla deneysel bir yöntem olan sızıntı ölçerler (seepage meter) kullanılmıştır (Şekil 2.10, Şekil 2.11).

Seepage metre çalışmaları ilk olarak 1944 öncesi sulama kanallarında ki sızma ile oluşan kayıp miktarının belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır (Israelson and Reeve 1944). 1970'li yıllardan sonra daha çok göl, akarsu, deniz ve sulak alanlar gibi bölgelerde yüzey ve yeraltı suyu akış yönlerinin tayini, miktar ve yeraltı suyu kalitelerini belirlemek amacıyla kullanılmıştır (McBrideand Pfannkuch 1975; Lee, 1977; John and Lock 1977; Lee and Cherry 1978, Downing and Peterka 1978, Erickson 1979, Brezonik 1980).

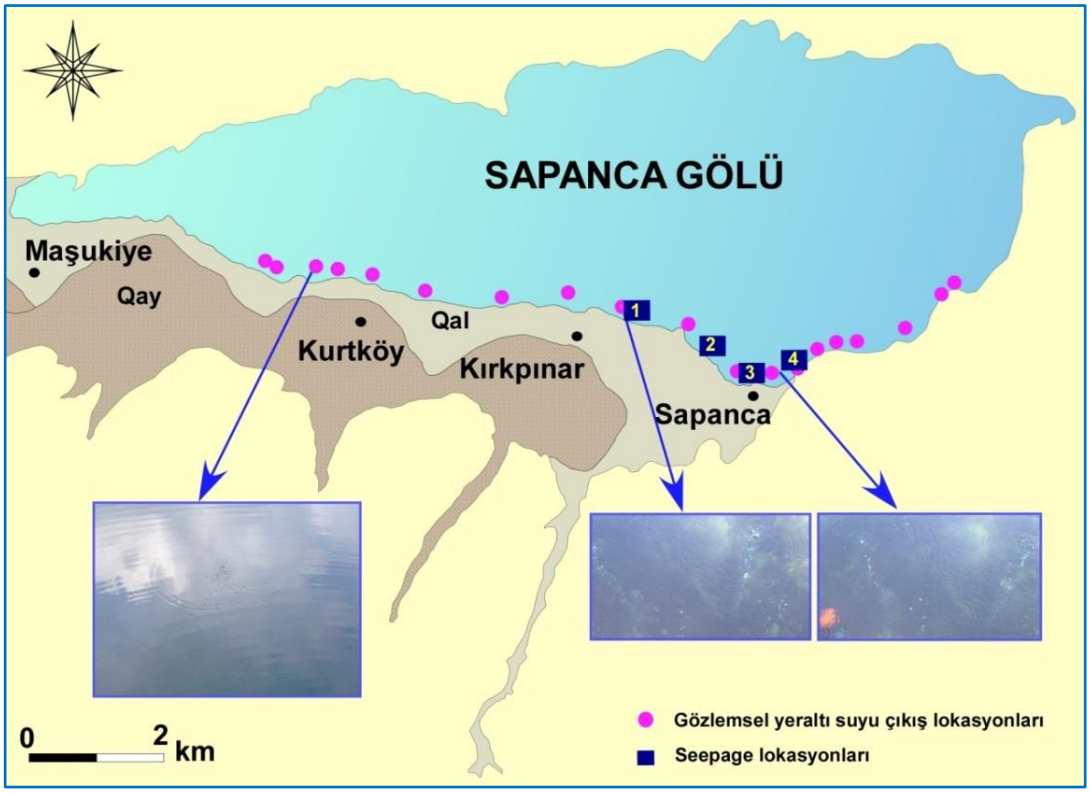
Tablo 2.1. Sapanca Gölü güney kıyısı boyunca yeraltı suyu çıkışların gözlendiği lokasyonların koordinat bilgisi

Gözlem İstasyon No	Tarih	X	Y	Z (m)
1	11.10.2012	262760	4510093	29
2	11.10.2012	262928	4509999	25
3	11.10.2012	263512	4510012	29
4	11.10.2012	263833	4509972	27
5	11.10.2012	264349	4509891	27
6	11.10.2012	265131	4509652	29
7	11.10.2012	266265	4509555	28
8	11.10.2012	267248	4509624	26
9	11.10.2012	268045	4509413	29
10	12.10.2012	269030	4509156	26
11	12.10.2012	269410	4508847	27
12	12.10.2012	269751	4508459	30
13	12.10.2012	270004	4508456	29
14	12.10.2012	270268	4508434	25
15	12.10.2012	270649	4508500	30
16	12.10.2012	270941	4508788	30
17	12.10.2012	271223	4508890	28
18	12.10.2012	271529	4508902	28
19	12.10.2012	272243	4509100	24
20	12.10.2012	272782	4509599	25
21	12.10.2012	272973	4509771	30

Bu yöntem ile seepage metrenin birim alanından (A=0,2375 m^2), birim zamanda (gün) alınan su miktarı (m^3) olan sızıntı akısı (Q=seepage flux-m^3/m^2/gün), Denklem (2.1) deki gibi hesaplanmaktadır (Lee 1977);

$$Q=V/(t.A) \quad (2.1)$$

Uygulanan yöntem, belirlenen sızıntı akısı ile boşalımın olduğu sedimanın yüzey alanı çarpıldığında sedimandan toplam boşalan hacmin kolaylıkla hesaplanabildiği bir yöntemdir.



Şekil 2.9. Sapanca Gölü güney kıyısı boyunca alüvyondan göle olan yeraltı suyu boşalımların tespit edildiği lokasyonlar ile seepage (sızıntı) metrelerin yerleştirildiği alanlar

Seepage (sızıntı) metreler genellikle göl, deniz veya akarsu tabanından sızan (sisteme giren veya çıkan) yeraltı suyu akış miktarını doğrudan ölçen basit ve maliyeti düşük düzeneklerdir. Seepage metrelerin tasarımları, yapılacak olan çalışmanın amacına ve yerleştirileceği ortama göre farklılıklar göstermektedir.Önceki araştırmacılar seepage metre yapımı için PVC boru (Schincariol, Mc Neil, 2002), plastik kova (Cey ve diğ., 1988; Alexander and Caissie 2003), paslanmaz çelikten yapılmış silindirik düzenek (Paulsen ve diğ., 2001), fiberglas kapak (Shinn ve diğ.,) ile galvanizden yapılmış su tankı ve benzeri düzenekler kullanmışlardır.

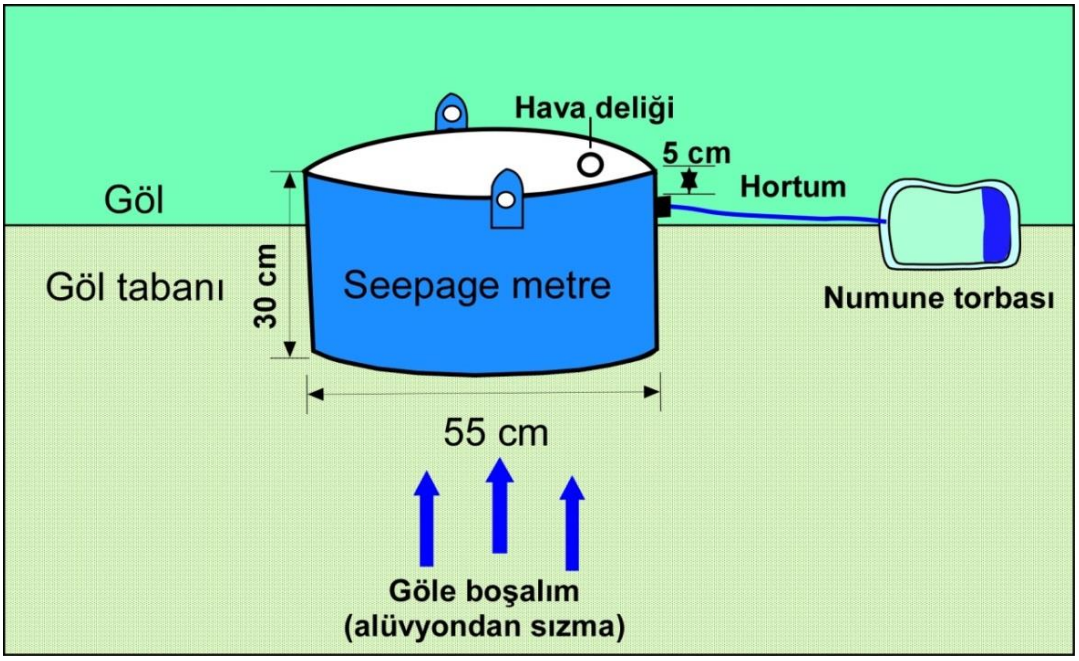
Bu çalışmada, seepage metre yapımı için 220 litre hacimli, 55 cm çaplı polietilen plastik (L-Ring) ve çelik variller kullanılmıştır (Şekil 2.10). Variller tabandan ve tavandan 30 cm uzunluğunda enine düzgün olacak şekilde kesilmiştir. Böylelikle 1 varilden iki adet silindirik düzenek elde edilmiştir. Bu düzeneklerin göl tabanına yerleştirilen kısmı açık, üst tarafı ise su sızdırmayacak şekilde kapalıdır.

Seepage metrelerin üst tarafından yaklaşık 2 cm çapında sızdırmaz kapağı olan delikler açılmıştır. Bunun amacı göl tabanına yerleştirilen seepage metrenin içerisinde hava, gaz vb. kabarcıkların kalmasını önlemektir. Seepage metreler sığ göl tabanına yerleştirilirken üzerindeki hava delikleri açık olacak şekilde silindirik düzenek çevirilerek veya itilerek en az 20 cm gömülene kadar ve üzerinde ortalama 5-10 cm boşluk kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu düzey seepage metre ile suyun numune şişesine aktarılacak olan musluğun olduğu düzeydir. Düzenek göl tabanına yerleştirildiktan sonra üst taraftaki kapakları kapatılıp sistemin dengeye ulaşması beklenmiştir. Sonraki aşamada göl tabanından sızan suyun miktarının ölçülebilmesi amacıyla suyun toplanacağı numune şişesi bir hortum yardımıyla seepage metreye sıkıca monte edilmiştir. Hortumun çapı yaklaşık 0,5 cm, numune şişesinin hacmi ise en az 1 litre olacak şekilde seçilmiştir. Numunenin toplanacağı şişe veya torbanın konumu seepage metrenin altında olmalıdır. Bu sebeple numune şişeleri ve bağlantı hortumları dalgadan ve rüzgâr gibi dış etkenlerden zarar görmemesi için ve hidrolik eğimin sağlanması amacıyla göl tabanına yerleştirilmiştir (Şekil 2.10, Şekil 2.11).



Şekil 2.10. Seepage metre yapımı için kullanılan polietilen ve çelik variller

Göl üzerinde yapılan gözlemsel çalışmalar, seepage metrelerin yerleştirileceği alanların belirlenmesi aşamasında büyük fayda sağlamıştır. Ayrıca karadan yapılan gözlemsel çalışmalar ile göl kıyı hattı üzerinde sızıntı ölçerler için en uygun 4 bölge belirlenmiştir (Şekil 2.9).



Şekil 2.11. Seepage (sızıntı) metrenin göl tabanındaki konumu ile düzenek ve bağlantılarını gösterir şematik görüntü

Maşukiye-Kırkpınar arasındaki kıyı hattı, çoğunlukla sazlık ve kamışlıktan oluşmaktadır (Şekil 2.12). Bundan dolayı Kırkpınar-Sapanca arasındaki kıyı bölgesi tercih edilmiştir (Şekil 2.13). Seepage metrelerin yerleştirilmesi için karadan ulaşımın kolaylıkla yapılabildiği, göl sığ tabanında su çıkışına bağlı kum konilerinin gözlendiği, kaya, yosun, ot vb. alanlardan uzak bölgeler seçilmiştir. Seepage metreler kıyıdan yaklaşık 2-3 m mesafede ve ortalama 30 cm derinlikteki alanlara yerleştirilmiştir (Şekil 2.14).



Şekil 2.12. Maşukiye-Kırkpınar arasındaki seepage metrelerin yerleştirilmesine uygun olmayan sazlık kamışlık alanlar



Şekil 2.13. Kırkpınar-Sapanca arasındaki seepage metrelerin yerleştirilmesi için uygun olan kıyı alanları

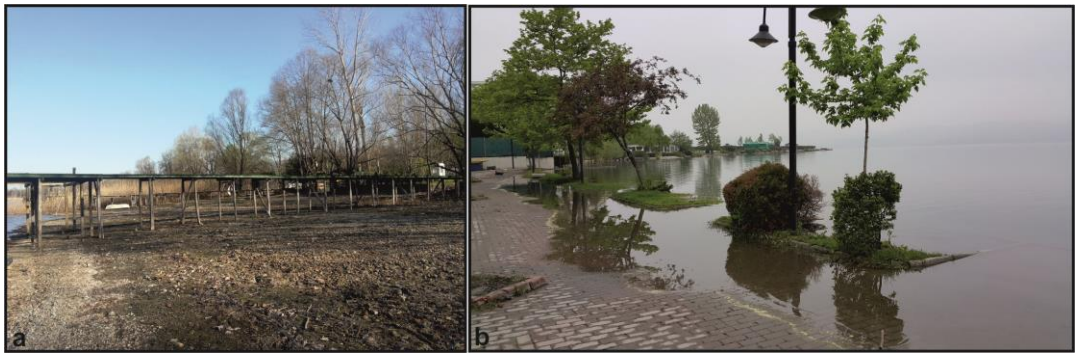
Göl tabanından sızan su miktarını belirlemek amacıyla 2014 ve 2015 yılları Şubat-Haziran ayları arasında her hafta düzenli olarak gölde ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.14).

Ölçüm periyodunu belirlemek amacıyla ilk hafta her gün, ikinci hafta iki günde bir göle gidilerek seepage metrelerden sızan numune miktarları gözlenmiş son olarak haftada bir periyodik ölçüm çalışmaları tamamlanmıştır.



Şekil 2.14. Sapanca Gölü seepage (sızıntı) metre çalışmaları a) Arazide seepage metrenin montaj aşaması, b) Seepage metrenin göle yerleştirilmesi, c) Seepage metreye numune şişesinin montajı, d) Göl tabanından sızan su miktarının numune torbasından ölçümü

2014 yılında seepage metrelerden alınan sızıntı suyu miktarları yaşanan kuraklık sebebiye minimum düzeyleri karakterize etmektedir. 2015 yılında yağışların mevsim normallerinde seyretmesi ve karların erimesi sonucu göl taşkın seviyeye ulaşmıştır. Bu yıl içerisinde seepage metrelerden alınan sızıntı su miktarları ise maksimum düzeyleri karakterize etmektedir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Sapanca Havzası'nda a) 2014 (Nisan) yılında kuraklığın yaşandığı dönemde yapılan arazi çalışması, b) 2015 (Nisan) yılında gölün taşkın yaptığı dönemde yapılan arazi çalışması

2.5. Hidrojeokimya

Havzada yeraltı suyu örneklemesi yağışlı ve kurak dönemi temsil edecek şekilde yapılmıştır. Çalışma kapsamında 5 dönem için (Mayıs-Eylül 2009 ve Şubat-Nisan-Haziran 2010) 24 kuyu ve 3 dönem için (Mayıs-Eylül 2009-Nisan 2010) 22 kaynaktan yeraltı suyu örneklemesi yapılmıştır.

Havzadaki suların köken, dolaşım, beslenme mekanizmaları ve akifer sistemleri ile göl arasındaki ilişkinin ortaya konması amacıyla 2 dönem halinde (Eylül 2009-Nisan 2010) kaynak, kuyu ve derelerden toplam 51 numunede izotop ($^{18}O/^{2}D/^{3}H$) analizleri yapılmıştır. Ancak bu numunelerde Oksijen-18 değerleri açısından analitik hatalar tespit edilmiş olup bu dönem verileri çalışmada değerlendirilememiştir. Bu amaçla Mart-Temmuz 2014 tarihleri arasında 6 kaynak, 5 kuyu, 3 gözenek ve göl suyu örneklerinden duraylı ve duraysız izotop ($^{18}O/^{2}D/^{3}H$) analizleri yapılmıştır.

2014 ve 2015 Şubat ve Haziran ayları arasında göl tabanına yerleştirilen seepage metrelerden sızıntı suyu örneklemesi yapılmıştır. Seepage metrelerden sızıntı suyu için örnek alırken aynı noktalardan göl suyu örneklemesi de yapılarak, göl suyundan karışım olup olmadığının kontrolü sağlanmıştır (Şekil 2.16).

2014 yılı Şubat-Haziran ayları arasında Sapanca Gölü'nün güney kesimindeki doğu-batı kıyı hattı üzerinde gölün sığ tabanında yaklaşık 100 noktada piyezometre ile gözenek suyu örneklemesi çalışması yapılmıştır. Ancak 2014 yılında yaşanan büyük kuraklık, Sapanca Gölü'nün bazı kesimlerinde yatay düzlemde 80 metre çekilmelere, düşey yönde ise 3 metrelik düşümlere neden olmuştur. Bu dönemde yaşanan kuraklık

sebebiyle göl tabanından ancak 3 noktada gözenek suyu örneklemesi yapılabilmiştir (Şekil 2.17).

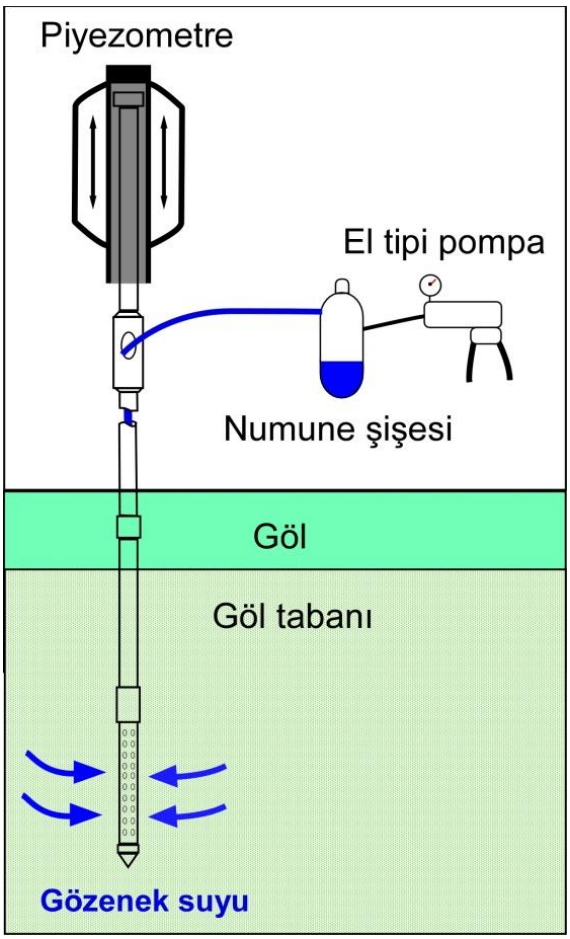


Şekil 2.16. Sapanca Havzası'nda yeraltı suyu örneklemesi a) Kaynak suyu, b) Kuyu suyu, c) Göl suyu, d) Gözenek suyu, e) Sızıntı suyu



Şekil 2.17. Sapanca Gölü'nde 2014 yılında yaşanan kuraklığa bağlı gelişen yatay ve düşey yöndeki çekilmeler ile piyezometre ile sızıntı suyu örnekleme çalışmaları

Bu çalışma için sığ göl tabanından gözenek suyu örneklemesi yapmak amacıyla piyezometreler özel olarak tasarlanmış ve su numunesi almaya uygun standartlarda ve paslanmaz çelik malzemeden üretilmiştir. Piyezometrenin toplam uzunluğu 1,5 m, çapı 2 cm ve göl tabanındaki sediman içinde kolayca ilerleyebilmesi amacıyla 20 cm'lik uç kısmı sivri olarak tasarlanmıştır. Göl tabanına yerleştirilen piyezometreden sızıntı suyun geçmesine olanak sağlaması amacıyla 20 cm'lik uç kısmının üzerine 5 mm çapında homojen dağılım gösteren çok sayıda delik açılmıştır (Şekil 2.18, Şekil 2.19). Göl sedimanlarının bu uç kısmının üzerindeki delikleri tıkamaması amacıyla iç tarafına 100 mesh (0,149 mm) çapında suyu süzecek silindirik bir filtre yerleştirilmiştir. Gözenek suyu numunesinin içinden geçeceği 16 mm çapında polietilen bir hortum bu filtreye sabitlenmiştir. Göl tababanına yerleştrilen piyezometreden gözenek suyu örneklemesi yapabilmek amacıyla polietilen hortumun ucuna el pompası bağlanarak suyun belirli bir basınç altında numune şişesine dolması sağlanmıştır (Şekil 2.18, Şekil 2.19).



Şekil 2.18. Piyezometrenin ve gözenek suyu örneklemesinin şematik görüntüsü



Şekil 2.19. Sığ göl tabanında gözenek suyu örneklemesi için tasarlanan piyezometreler ve çeşitli lokasyonlarda yapılan örnekleme çalışması

Bu çalışmada, hidrojeokimyasal ve izotop analizler için numune alımında 1 litrelik yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) şişeler kullanılmıştır. %10'luk HNO_3 ile yıkanmış numune şişeleri örnek almadan önce en az 3 kez örnek suyu ile çalkalanmış ve şişelerin içinde hava kabarcığı kalmamasına özen gösterilerek çift kapak ile ağızları kapatılmıştır. Örnekleme yapılırken gerekli görülen numuneler 0,45 mikronluk filtreden geçirilmiştir. Havzada çalışmayan kuyulardan yeraltı suyu örneklemesi yapmadan önce kuyular en az 20 dk çalıştırılmıştır. Numuneler analizleri yapılana kadar ışık almayacak şekilde +4 ºC'de saklanmıştır. Katyon ve metal analizlerine tabi tutulacak örneklerin laboratuvar ortamına getirilinceye kadar geçen sürede korunması amacıyla derişik suprapur nitrik asit (HNO_3) ilave edilerek pH<2 olması sağlanmıştır.

Her bir örnekleme noktasında metal analizleri için 500 ml, anyon ve alkalinite analizleri için 1'er litrelik polietien (HDPE) şişeler kullanılmıştır. İzotop analizleri için ayrıca 1 litrelik polietien (HDPE) şişeler kullanılmıştır.

Sahada kaynak, kuyu, göl suyu, gözenek ve sızıntı suyu örnekleri üzerinde portatif multi-parametre ölçer (Orion 5 star) kullanılarak örneklerin pH, elektriksel iletkenlik, çözünmüş oksijen ve sıcaklık değerleri yerinde tespit edilmiştir. Numunelerin kimyasal analizleri ise TÜBİTAK-MAM Çevre Laboratuvarında ve Kocaeli Üniversitesi Analitik Jeokimya Laboratuvarında yapılmıştır. Ayrıca yeraltı sularının köken, dolaşım ve beslenme mekanizmalarının belirlenmesi amacıyla TÜBİTAK-MAM Çevre ve Petrol Jeokimyası Laboratuvarı ($^{18}O/^{2}D$) ve D.S.İ. Ankara Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı (TAKKD) İzotop Analiz Laboratuvarı'nda duraylı ve duraysız izotop ($^{18}O/^{2}D/\ ^{3}H$) analizleri yapılmıştır.

Havzadaki kaynaklardan ve kuyulardan alınan 3 döneme (Mayıs-Eylül 2009, Nisan 2010) ait su örneklerinin analizleri (Ca^{+2}, Mg^{+2}, Na^{+}, K^{+}, Si, Al, Fe, Mn, Ba, Rb, Sr, U, Pb, Cl^{-}, SO_4^{-2}, NO_3^{-},NO_2^{-}, HCO_3^{-}, alkalinite, toplam çözünmüş katı madde, TOK, toplam fosfor ve amonyum azotu) TÜBİTAK-MAM Çevre Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Eylül 2009-Nisan 2010 tarihleri arasında alınan su örneklerinin Oksijen-18 ve Döteryum analizleri ise Tübitak MAM Çevre ve Petrol Jeokimyası Laboratuvarında yapılmıştır. 2014 yılında alınan numunelerin izotop analizleri ise D.S.İ. Ankara Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı (TAKKD) İzotop Analiz Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Kuyulardan (Şubat-Haziran 2010), kaynaklardan (Temmuz 2014), gözenek ve göl suyundan (Haziran-Temmuz 2014) alınan örneklerin analizleri Kocaeli Üniversitesi Analitik Jeokimya Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Element analizleri (Ca^{+2}, Mg^{+2}, Na^{+}, K^{+}, Si, Al, Fe, Mn, Ba, Sn, Co, Zn, Li, Be, B, Ti, V, Cr, Se, Rb, As, Sr, Mo, Ag, Cd, Sb, Hg, Tl, U, Pb) Perkin Elmer Elan DRC-e model ICP-MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi) cihazı ile anyon analizleri ise (Cl^{-}, SO_4^{-2}, NO_3^{-}, NO_2^{-}, F^{-}, Br^{-} PO_4^{-3}) Dionex-ICS-1100 marka iyon kromotografi (ICS-1100) cihazları kullanılarak yapılmıştır (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. Kocaeli Üniversiesi Analitik Jeokimya Laboratuvarı'nda element analizi yapılan a) Perkin Elmer Elan DRC-e ICP-MS ile Dionex ve b) ICS-1100 iyon kromotografi cihazları

ICP-MS cihazı ile yapılan elemental analizlerin ölçümlerinin doğruluğu NIST 1643 referans örneği ile test edilmiştir. ICP analizleri sırasında matriks farklılığından kaynaklanabilecek hataları minimize edebilmek için numunelere içsel standart karışımı ölçüm öncesi on-line (20 ppb Tb, Y, Ho, Bi, Rh) olarak eklenmiştir.

Su örneklerinin majör anyon analizleri ise, araziden asitlenmeden ve filtrelenmiş olarak alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. İyon Kromatografi cihazının kalibrasyonu ve analizlerin doğruluğu Dionex 7-anyon standardı ile sağlanmıştır.

Toplam alkalinite analizleri HACH marka hazır alkalinite kiti ve titrasyon yöntemiyle 0,16 N ve 1,6 N H_2SO_4 çözeltileri kullanarak, bikarbonat (HCO_3^-), toplam çözünmüş madde (TDS) ve toplam sertlik gibi parametreler ise hesaplanarak belirlenmiştir.

Analizleri yapılan tüm su örneklerinin anyon ve katyon iyon balans oranları hesaplanmış ve ortalama %6 ile kabul edilebilir değerler (<%10) arasında olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, havzadaki yeraltı suları fiziksel, kimyasal ve izotopik açıdan değerlendirilmiş, çeşitli diyagramlar ve grafikler üzerinde gösterilerek yorumlanmıştır. Hidrojeokimyasal verilerin sınıflandırılması ve doygunluk indislerinin hesaplanması için AquaChem-4.0 yazılımı kullanılmıştır. Hidrojeokimyasal ve izotop verilerinin grafiksel gösterimi için Grapher-7, dağılım haritalarının oluşturulması için Surfer-10 yazılımları kullanılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Genel Jeoloji

Bölgenin ayrıntılı jeolojisi ve tektoniği birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları Şengör ve Yılmaz (1981), Göncüoğlu ve diğ., (1987, 1989, 1992), Yılmaz ve diğ., (1990), Bozcu (1992), Bargu (1992), Emre ve diğ., (1998), Okay ve Tüysüz (1999), Timur ve Aksay (2002), Herece ve Akay (2003), Gürbüz ve Gürer (2008, 2009) ve Akbayram (2012)'dır. Çalışma alanının jeoloji haritası Şekil 3.1 ve Ek-2a'da sunulmuştur. Sapanca Havzası'na ait enine jeolojik kesit ayrıca Ek-2b'de sunulmuştur.

Sapanca Havzası'nda Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı kayaçlar yer almaktadır. İnceleme alanında yer alan birimler yaşlıdan gence doğru; Mesozoyik yaşlı Sultaniye Metamorfitleri, Çakraz Formasyonu, Keltepe Mermerleri ve Akçay Metamorfitleri ile Senozoyik yaşlı Akveren Formasyonu, Yığılca Formasyonu, Çaycuma Formasyonu, Örencik Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı Alüvyon'dur (Şekil 3.1).

Mesozoyik yaşlı kayaçlar Sapanca Gölü drenaj alanının en yaşlı birimlerini oluşturmaktadır. Göl drenaj alanının güney yamaçlarında Triyas yaşlı şist, fillat, kuvarsit ve mermerlerden oluşan Sultaniye Metamorfitleri ile Keltepe Mermerleri ve kuzeyinde sınırlı alanda görülen Çakraz Formasyonu'na ait çamurtaşı, kumtaşı ve konglomeralar yer almaktadır.

Bölgenin güneyi faylanma ve orojenik hareketler nedeniyle oldukça yoğun deformasyona maruz kalmıştır. Bundan dolayı mermer ve rekristalize kireçtaşlarının bazıları iri bloklar halinde masif, bazıları kırıklı, çatlaklı ve erime boşluklu, bir kısmı da yer yer küçük bloklar halinde şistler içinde yüzeylenmektedir.

Rekristalize kireçtaşı ve mermer birimlerinden oluşmuş Keltepe Mermerleri, havza sınırlarının güney tepelerindeki Soğucak Yayla bölgesinde, Keltepe'nin (Kartepe) kuzeydoğu kısımlarında ve yer yer iri bloklar halinde Sultaniye Metamorfitleri

ile beraber bulunmaktadır. Ayrıca metakumtaşı, metaçamurtaşı, şist, serpantinit vb. birimlerin oluşturduğu Akçay Metamorfitleri havzanın güneydoğu kısımlarını oluştururken, Akveren Formasyonu'na ait yarı pelajik kireçtaşları, şeyl, kalkarenit, kumtaşı ve konglemeradan oluşan birimler havzanın kuzey doğu kısmında yer alırlar.

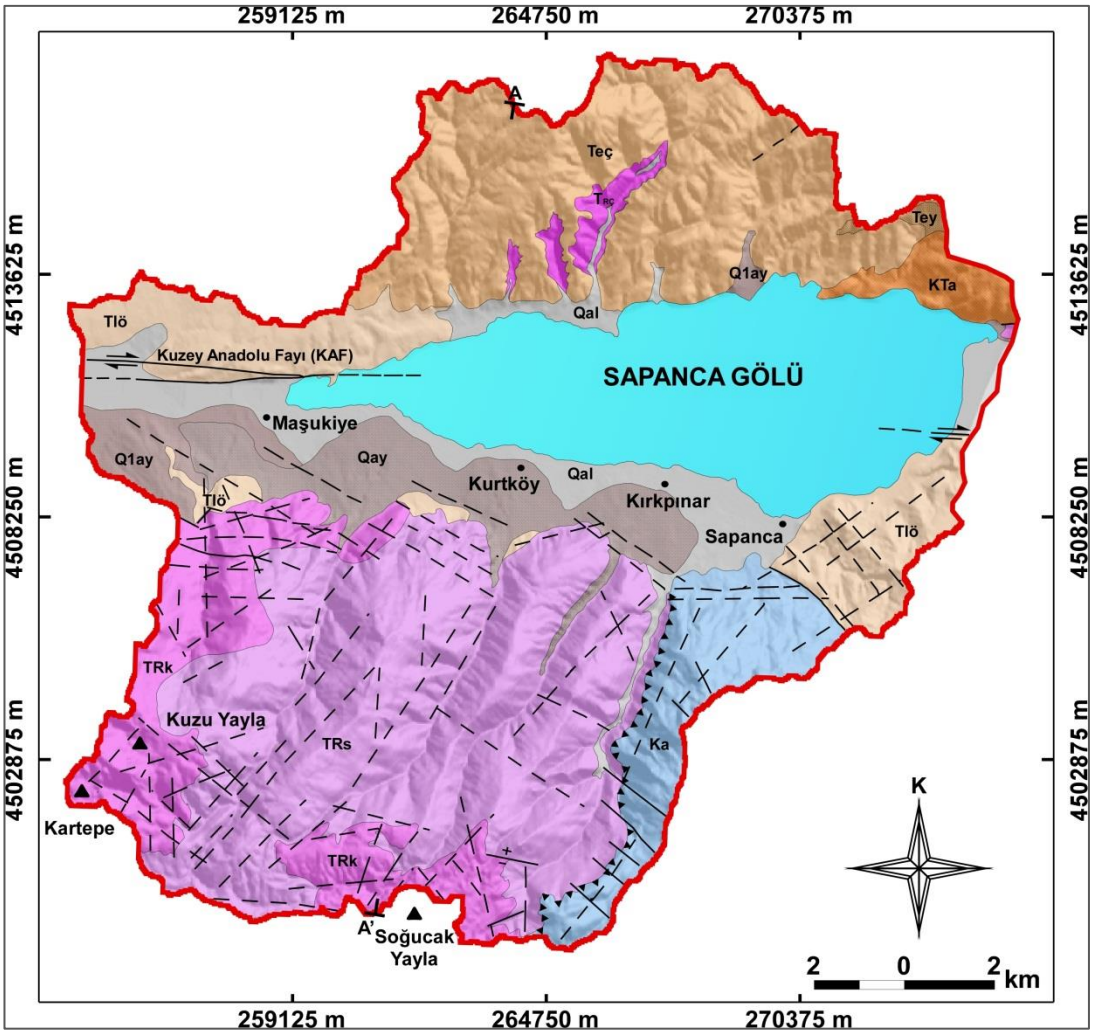
Havzanın güneyinde yer alan Maşukiye, Yanık, Kurtköy, Mahmudiye ve İstanbul dereleri ile kuzeyindeki Kuru Dere ve Maden Dere Mesozoyik yaşlı birimlerden doğarak Sapanca Gölü'ne dökülmektedir.

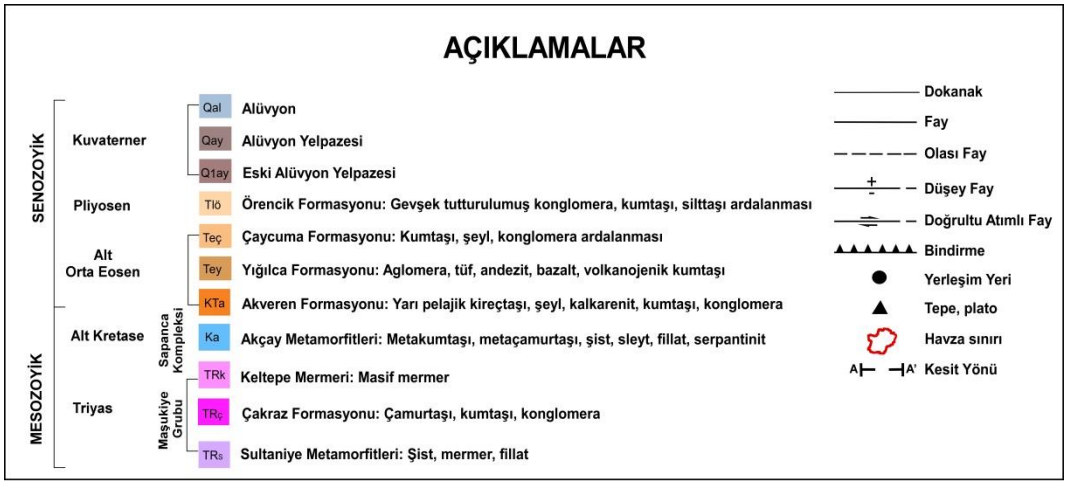
Göl drenaj alanı içinde Alt Kretase yaşlı Akçay Metamorfitleri, Alt-Orta Eosen yaşlı Akveren Formasyonu ile Yığılca ve Çaycuma Formasyonları, Triyas yaşlı birimler üzerine açısal uyumsuzlukla gelirler (Timur ve Aksay 2002).

Senozoyik yaşlı birimler Tersiyer ve Kuvaterner olmak üzere ikiye ayrılır. Tersiyer Eosen ve Pliyosen peryotları ile temsil edilir. Alt- Orta Eosen yaşlı birimler drenaj alanı içinde fliş özelliği gösterir. Kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı ardalanması şeklindeki bu birimler ince-orta tabaka kalınlığındadır. Sarı-sarımsı kahve, toprağımsı görünüme sahip birim, Sapanca Gölü'nün kuzey ve kuzeybatı yamaçlarını oluşturmaktadır (Ertürk, 1994). Göl drenaj alanının kuzey kısımlarında küçük mostralar halinde yer alan volkanik kayaçlar, Eosen sonrası gelişen volkanizma ürünlerinden aglomera, andezit ve bazalt bileşimli kayaçlardır (Oktaş ve diğ., 2002).

Geç Pliyosen çökelleri ise gölün güneydoğu ve kuzeybatısında yer alan alüvyal yelpaze ve akarsu birimleri olarak göle en yakın ve alçak yükseltileri oluştururlar. Birim, zayıf tutturulmuş çakıl-kum-kil ve silt tipi çökellerden oluşmaktadır (Emre ve diğ., 1998).

Bölgede Kuvaterner yaşlı birimler drenaj alanının doğu ve batı düzlük kısımları ile güneydeki düzlüklerde, alüvyon ve alüvyal yelpazeleri, yamaç molozu ve teraslar şeklinde görülürler. Bu birimler genellikle tutturulmamış çakıl, kum, kil, silt ve bunların karışımlarından oluşur.





Şekil 3.1. Sapanca Havzası'nın Jeolojisi (Timur ve Aksay 2002 ve Akbayram 2012'den değiştirilerek düzenlenmiştir)

3.2. Stratigrafi

Sapanca Havzası'nın kuzeyinde İstanbul Zonu'na ait kayaçlar bulunurken, güneyinde Sakarya Zonu'na ait kayaçlar bulunmaktadır. Sapanca Gölü'nün bulunduğu orta kısım ise Kuzey Anadolu Fay Sistemi (KAFS) içerisinde yer almaktadır. Bu nedenle Sapanca Havzası'nda farklı jeolojik zamanlarda gelişmiş birimler bulunmaktadır. Sapanca Havzası kuzey ve güney istifine ait genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesitleri ile birimlerin korelasyonu Şekil 3.2'de sunulmuştur.

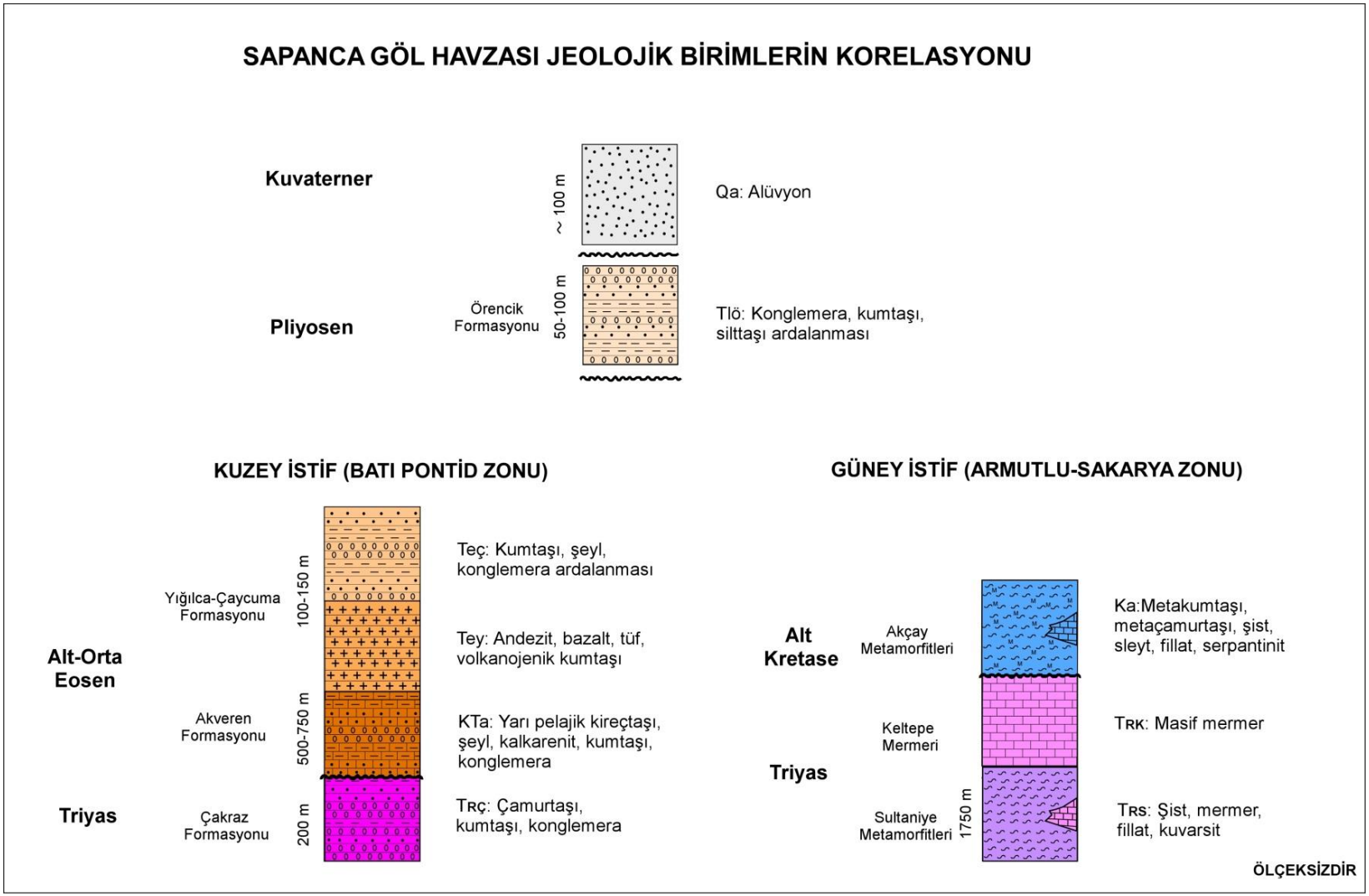
3.2.1. Mesozoyik

3.2.1.1. Maşukiye grubu

Akbayram (2012), yapmış olduğu çalışmasında Sultaniye Metamorfitleri'ni ve Keltepe Mermerleri'ni Maşukiye Grubu içinde, Akçay Metamorfitleri'ni ise Sapanca Kompleksi içinde değerlendirmiştir. Çalışmasında Maşukiye Grubu'nun yaşını Triyas olarak belirlemiştir.

Sultaniye Metamorfitleri: Şist, fillat, kuvarsşist, kuvarsit, mermer, kalkşist gibi metasedimanter kayaçlardan oluşmaktadır (Şekil 3.3). Birimin üst kesiminde Mermer Üyesi'ne ait mermerler bulunmaktadır.

Sultaniye Metamorfitleri en iyi mostraları, Maşukiye-Keltepe yolunda görülür. Formasyonun ölçülebilen toplam yapısal kalınlığı ~1750 metredir. Çalışma alanında, Sultaniye Metamorfitleri'nin %35-40'ı metakumtaşlarından; %50-60'ı fillatlardan; ~%5-7'si mermer arakatkılarından, ~%3'ü metakuvarsit arakatkılarından oluşur. Metakumtaşları, beyaz-beyazımsı açık gri taze yüzey rengi gösterirler. Ağırlıklı olarak kuvars, feldspat, mika mineralleri içerirler ve hemen her yerde ince-orta kalınlıkta foliasyona sahiptirler. Sultaniye Metamorfitleri'nin fillatları koyu renklidir, genelde sık foliasyonlu, yaygın olarak da parçalanmış haldedir (Akbayram, 2012) (Şekil 3.3).



Şekil 3.2. Çalışma alanının kuzey ve güney istifine ait genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesitler ile birimlerin korelasyonu (Timur ve Aksay'dan (2002) değiştirilerek düzenlenmiştir



Şekil 3.3. Sultaniye Metamorfitleri a) Metakumtaşı, b) Fillat, c) Siyah Mermer, d) Mermerler üzerindeki foliasyon düzlemleri

Birimin genelinde, fillat ve metakumtaşları ardalanır. Sultaniye Metamorfitleri içindeki mermer ara katkılarının boyutları 1-2 metreden; 250-620 metreye kadar değişir (Akbayram, 2012). Mermerler koyu gri renklidir, bol çatlaklıdır, 15-35 cm kalınlığında foliasyon düzlemlerine sahiptirler (Şekil 3.3).

Mermer Üyesi; Sultaniye Metamorfitleri'nin üst kesimlerinde gözlenen mermerler, Mermer üyesi olarak ayırtlanmıştır. Birimin tabanını şistlerle ardalanan ve onlarla tedrici geçişi temsil eden pembe ve mor renkli metaçamurtaşları oluşturur. Metaçamurtaşlı bölümün üzerinde yaklaşık 30 m. kalınlıkta, yine pembe ve mor renkli karbonatlı metaçamurtaşları izlenir. İstifin en üst bölümünde ise, görünür kalınlığı 100 m'yi aşan, alt kesimlerde seyrek ince taneli mermer ara katkılı, orta-kalın tabakalı, beyaz mermerler ve rekristalize kireçtaşları yer alır. Birimin alt dokanağı Sultaniye Metamorfitleri'nin metadetritikleri ile geçişlidir (Timur ve Aksay, 2002).

Keltepe Mermeri: Keltepe Mermeri ilk kez Bozcu (1992) tarafından, tipik mostralarının görüldüğü, Maşukiye ilçesi güneyindeki Keltepe'ye atfen adlanmıştır. Keltepe Mermeri, Sultaniye Metamorfitleri'nin üzerine uyumlu olarak gelir.

Keltepe mermeri, çalışma alanında Maşukiye'den Keltepe'ye giden yollar boyunca ve Soğucak Yayla'da iyi mostralar sunar (Şekil 3.4). Mermerin taze yüzey rengi kahvemsi gri-koyu gri arasındadır. Mermer mostraları Maşukiye bölgesinde masif görünümlü iken Soğucak Yayla ve civarında kırıklı, çatlaklı bir yapı sergilemektedir (Şekil 3.4). Maşukiye Kartepe yolu üzerinde, Keltepe Mermerleri üzerinde muhtemelen genç fay düzlemleri boyunca oluşmuş terra-rossa'lar gözlenmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.4. Keltepe Mermerleri'ne ait görünüm; a) Soğucak Yaylası, b) Maşukiye (Vadi Restaurant)



Şekil 3.5. Maşukiye-Kartepe yolu üzerinde, Keltepe Mermerleri'nin yüzeylerinde gelişmiş terra-rosalar

Çakraz Formasyonu: Çamurtaşı, kumtaşı ve konglomeradan oluşmaktadır. Kırmızı, mor renkli, masif ve orta-kalın tabakalı, yer yer kuruma çatlaklı ve çapraz tabakalanmalı, konglomera, kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı ve kiltaşı ardalanmasından oluşur. Yaklaşık 200 m. kalınlığı olan birim, çalışma alanındaki Akveren Formasyonu ile açısal uyumsuzluk gösterir.

Birimin üst seviyeleri gölsel, yaygın görülen daha alt seviyeleri ise karasal ortamın (akarsu kanalı, kurak taşkın ovası, eoliyen kum) çökelleri ile temsil edilir (Alişan ve Derman, 1995).

3.2.1.2. Sapanca kompleksi

Akçay Metamorfitleri: Birim ilk olarak Akbayram (2012) tarafından, birimin iyi mostralarının Sapanca ilçesinin yakın güneyinde görülmesi nedeniyle Sapanca Kompleksi olarak adlandırılmıştır. Akçay Metamorfitleri, Triyas yaşlı Keltepe Mermeri üzerine uyumsuz olarak gelmektedir.

Sapanca Kompleksi, başlıca beş litolojinin ince tektonik dilimler halinde ardalanmasından oluşur. Bu litolojiler; nefti yeşil renkli, foliye metabazit; kırmızı renkli metaçört; gri-koyu gri sleyt; gri fillat ve serpantinittir (Şekil 3.6).

Kompleks içinde nadiren kırmızı metaçamurtaşları, mermer mercekleri ve metafliş seviyeleri de çıkmaktadır. Sapanca Kompleksi'nin litolojilerinden çalışma alanında en fazla mostrası bulunanı metabazitlerdir ve tüm istifin ~%55-%60'ını oluştururlar. Sleyt ve fillatlar zaman zaman ayrı dilimler halindedir ve istifin ~%20-%25'ini oluştururlar. Serpantinit dilimleri ise ~%15-%20 oranındadır. Sapanca Kompleksi'nin sleytleri, gri-koyu gri renkli, çoğunlukla parçalanmış, nadiren foliasyonludur. Sleytlerinin, hem altında hem de üstünde gri renkli fillatlar bulunur. Fillatlar ise gri-mavi renkte, yer yer foliasyonlu, fakat çoğu zaman aşırı parçalanmış görünürler. Kompleks içerisindeki serpantinit tektonik dilimleri ise en büyüğü 3,5-1,2 km ölçülerine sahip irili ufaklı mostralar verirler (Şekil 3.6). Metaçört-sleytten oluşan dilimler 3-10 metre kalınlığında seviyeler halinde, daha az oranda mostra verirler (istifin ~%5-%10'u).

Kırmızı metaçamurtaşları ise 30-40 santimetrelik ince seviyeler oluştururlar ve yaygınlıkları daha azdır (tüm istifin ~%2-%3'ü). Mermerler ise zaman zaman 2-7 metre eninde tektonik mercekler olarak görülmüştür. Metafliş düzeyleri de oldukça azdır (Akbayram, 2012).



Şekil 3.6. Akçay Metamorfitleri'ne ait görünüm; a) Gri fillat, b) Serpantinit

3.2.2. Senozoyik

3.2.2.1. Akveren formasyonu

İlk defa Ketin ve Gümüş (1963) tarafından adlandırılmış olan birim, altta kumlu karbonatlar, üstte killi kireçtaşları, rudistli kireçtaşı, çamurtaşı, marn ve volkanitleri kapsar. Akveren Formasyonu, inceleme alanının kuzey yarısında geniş yüzeylenmeler sunar (Timur ve Aksay, 2002).

Akveren Formasyonu, krem, bej, açık gri, pembe renkli, ince-orta-kalın tabakalı kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şekil 3.7). Çökelme ortamının derinliğindeki ve çökelme ortamındaki değişimlere bağlı olarak kireçtaşı fasiyesleri de değişmektedir. Sığ kesimlerde ince-orta tabakalı, kırıntılı kireçtaşları, derin kesimlerde mikritik, killi ve kalkarenitik kireçtaşları gözlenmektedir. Türbiditik kesimlerde en çok kalkarenit-marn ardalanması gözlenmektedir. Volkanitlere yakın kesimlerde pembe renkli mikritik kireçtaşları ve rudistli kireçtaşları gözlenmektedir. Formasyon yer yer kalın marn seviyeleri içermektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Sapanca Gölü'nün kuzeyinde Akveren Formasyonu'na ait a) Kireçtaşı ve b) Kireçtaşı ve marn seviyeleri

3.2.2.2.Yığılca formasyonu

Andezit, bazalt, tüf, aglomera ve volkanojenik kumtaşından oluşan birim, ilk defa Kaya (1982) tarafından Yığılca Formasyonu adı altında incelenmiştir.

Koyu gri, kahverengimsi gri, kırmızımsı ve açık yeşil renklerdeki birimlerde aglomera ve tüf düzeyleri kalın katmanlı masif görünümlüdür. Yer yer yeniden işlenme dolayısıyla gelişen volkanojenik kumtaşlarında taneler kötü boylanmalı ve katmanlar orta kalınlıktadır. Ayrıca bunların arasında çok seyrek olarak görülen ince katmanlı marn düzeyleri Nummulites fosili içerir. Lavların egemen olduğu kesimlerde yaygın kaya türü andezittir. Yığılca Formasyonu yanal ve düşey yönde Çaycuma Formasyonunun birimleri geçiş gösterir. Birim 100-150 m. kalınlığındadır. Nummulites fosillerine göre birimin yaşı Alt-Orta Eosen olarak düşünülmüştür (Timur ve Aksay, 2002).

Mevcut volkanik kayalardan aşınan ve taşınan malzemeler ve yer yer volkanik aktivitenin olduğu zamanlarda havzaya patlamalarla ulaşan malzemeler zamanla bu istifi meydana getirmişlerdir (Timur ve Aksay, 2002).

3.2.2.3. Çaycuma formasyonu

Çaycuma Formasyonu, kumtaşı, silttaşı, kiltaşı ardalanmasıyla temsil edilir. Birim, ilk defa Tokay (1954) tarafından adlandırılmıştır. Kumtaşları sarımsı, bozumsu sarı renkli; orta kalın tabakalı ve masif, orta taneli, yer yer çakıllıdır (Şekil 3.8). Karbonat çimentoyla orta-gevşek tutturulmuştur. Birimde mika pulları ve kuvars taneleri çok bol gözlenmektedir.



Şekil 3.8. Sapanca Gölü'nün kuzeyinde Çaycuma Formasyonu'na ait kumtaşlarından görünüm

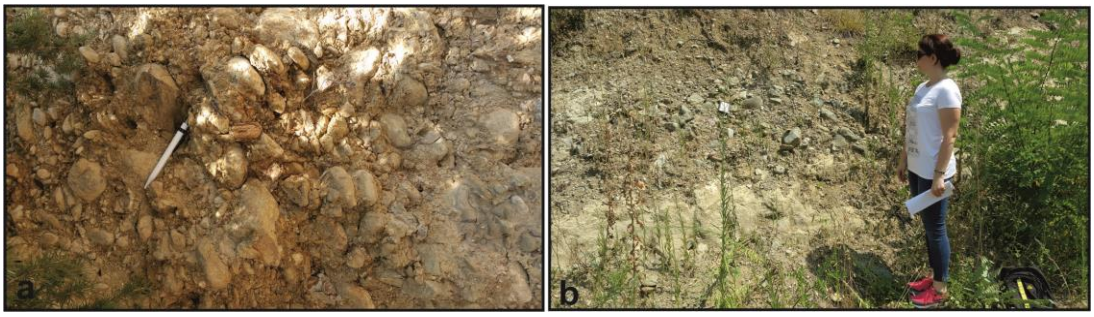
Kiltaşları yeşilimsi gri renkli ve ince-orta tabakalı ve paralel laminalıdır. Akveren formasyonu ile geçişli olduğu kesimlerde ince-orta tabakalı kumtaşı-kiltaşı ardalanması şeklindedir (Şekil 3.9). Burada kumtaşları üste doğru derecelenip paralel laminalı kireçtaşlarına geçer. Kumtaşları türbiditik olup, tabaka alt yapıları kapsar. Bazı yerlerde ise Akveren Formasyonu'nun üzerinde sarı renkli, gevşek tutturulmuş masif kumtaşları doğrudan yer alır. Buradaki kumtaşları herhangi bir içyapı özelliği göstermezler (Timur ve Aksay, 2002).



Şekil 3.9. Çaycuma Formasyonu içinde bulunan ardalanmalı kumtaşı, kiltaşı tabakalarından görünüm

3.2.2.4. Örencik formasyonu

Bölgenin en genç çökellerini oluşturan karasal konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ardalanması ilk olarak Aydın ve diğ., (1987) tarafından adlandırılmıştır. Örencik Formasyonu, kırmızı, sarımsı kırmızı, kahverengi konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ardalanması ile temsil edilir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Sapanca Gölü'nün güney doğusunda yer alan Örencik Formasyonu'na ait görünüm; a) Konglomera, b) Konglomera-kumtaşı ardalanması

Birim genelde çok az tutturulmuş olup, orta-kalın tabakalanma gösterir. Yer yer tabakalanması belirsizdir. Konglomeralar, aşınmalı tabanlı, kötü boylanmalı olup çakılları yuvarlak-az yuvarlaktır. Üste doğru çamurtaşlarına ve kumtaşlarına derecelenme gösterir. Kumtaşlarında sarımsı kırmızı renk hâkim olup, ince-orta kaba tanelidirler (Şekil 3.10).

Kumtaşı tabakalarında paralel ve çapraz laminalar sıkça gözlenir. Örencik Formasyonu kendinden yaşlı tüm birimler üzerinde açısal uyumsuz olarak yer alır. Formasyon 50-100 m arasında bir kalınlığa sahiptir. Formasyon içerisinde fosil tespit edilememiştir. Bu nedenle stratigrafik konumuna dayanarak Pliyosen yaşı verilmiştir. Örencik Formasyonu'nun kaya türü özellikleri akarsu ortamını karakterize eder (Timur ve Aksay, 2002).

3.2.2.5. Güncel çökeller

Kuvaterner yaşlı çökellerdir (Şekil 3.11).

Eski Alüvyon Yelpazesi: Çakıl, kum, çamur birikintilerinden oluşur. Yatak değiştiren akarsuların yakınlarında ve/veya az uzağında tatlı eğimli tepecikler halinde görülürler.

Alüvyon Yelpazesi: Akarsu kenarları ve ovalarda görülen çakıl, kum, çamur birikintileridir.

Alüvyon: Akarsu yataklarında, eski çukurluklar üzerine gelişmiş düz alanlardaki çakıl, kum, çamur çökelleridir.



Şekil 3.11. Sapanca Havzası güney kesimdeki alüvyon ve alüvyal yelpazeden bir görünüm

3.3. Tektonizma

Türkiye, jeolojik olarak birbirinden farklı kıtasal ve okyanusal zonlardan oluşmuştur (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve Tüysüz, 1999). Tetis Okyanusu'nun aktif ve pasif kıta kenarlarında yer almış olan bu zonlar, Türkiye'nin ana tektonik birimlerini oluşturur. İzmir-Ankara Süturu'nun kuzeyinde kalan Pontid'ler üç farklı kıtasal zondan oluşur. Bunlar Istranca, İstanbul ve Sakarya Zonları'dır. Mesozoyik'te Sakarya ve İstanbul Zonları, Pontid-İçi Okyanusu adı verilen bir okyanus ile birbirinden ayrılmıştır (Şengör ve Yılmaz, 1981). Pontid-İçi Okyanusu'nun zaman içinde kuzey yönlü yitimi ile Sakarya ve İstanbul kıtaları birbirine yaklaşmış ve çarpışarak bugünkü konumlarına gelmiştir. Pontid-İçi Okyanusu'nun kaybolduğu hat Pontid-İçi Süturu olarak bilinir.

Kocaeli ve Sapanca'nın içinde yer aldığı Marmara Bölgesi, tektonik açıdan Türkiye'nin en aktif bölgesidir. Bölgenin tektonik çatısı iki bölümde toplanabilir. Bunlar; Paleotektonik ve Neotektonik dönemdir.

Paleotektonik dönem Geç Kretase-Paleosen döneminde iki farklı kıtasal levhanın birbirine eklendiği bir kenet kuşağı ile temsil edilir.

Kuzeydeki İstanbul Kıtası ile güneydeki Sakarya Kıtası arasında yer alan İç Pontid Okyanusu'nun kapanması sonucunda bu iki kıta Kocaeli-Sapanca koridoru boyunca birbirine eklenmiştir (Şekil 3.12).

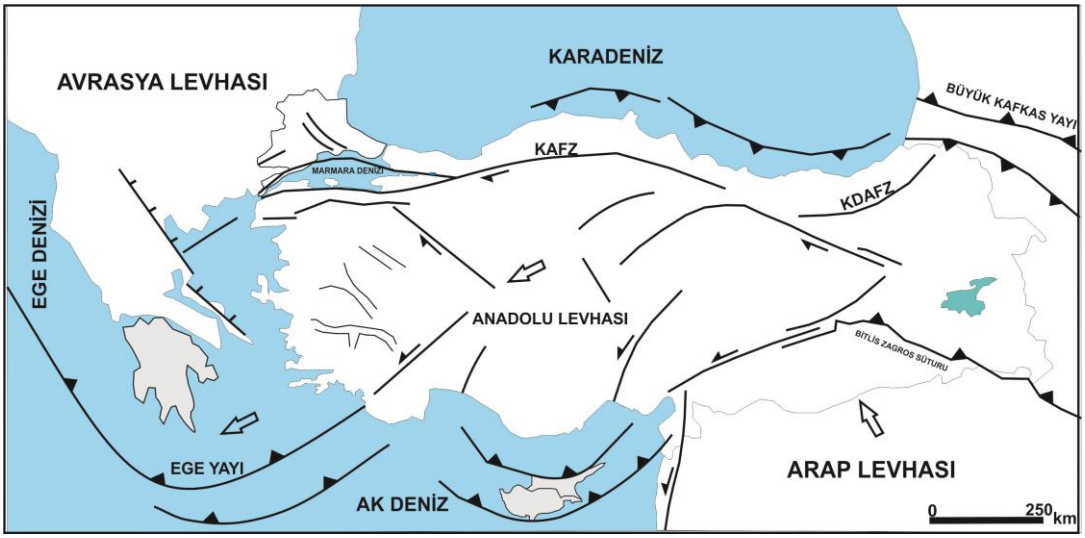
Bölgedeki Neotektonik dönem, Pliyo-Kuvaterner dönemde başlamış ve devam etmektedir. Bölgenin neotektonizmasını Ege Bölgesi'ni Geç Pliyosen'den itibaren etkileyen K-G yönlü gerilme rejimi ve Kuzey Anadolu Fay Sistemi (KAFS) ile ilişkili doğrultu atımlı rejim biçimlendirmiştir. Sapanca Gölü, Geç Pliyosen'de asimetrik bir çek-ayır havza olarak gelişen İzmit-Sapanca koridorunun üzerinde bu havzayı biçen fay kolları arasında Orta-Geç Pleyistosen'de ayrı bir çek-ayır havza olarak gelişmiştir (Gürbüz ve Gürer, 2009).



Şekil 3.12. Kuzeybatı Türkiye'nin paleotektonik dönem haritası (Okay ve Tüysüz, 1999'dan değiştirilerek alınmıştır)

Şengör'e (1981) göre Türkiye'de neotektonik dönem yaklaşık 11 milyon yıl önce (Orta Miyosen) Arap Yarımadası'nın Anadolu'ya çarpmasıyla başlamıştır (Şekil 3.13). Neotektonik dönem boyunca Arap Yarımadası kuzeye doğru hareketine devam etmiş ve bunun sonucunda da Doğu Anadolu'da sıkışmalı bir rejim meydana gelmiştir. Pliyosen başlarında bu sıkışmalı tektonik rejim yerini kaçış rejimine bırakmış ve bu nedenle Anadolu'nun batıya doğru hareketi başlamıştır. Anadolu'nun batıya hareketiyle meydana gelen gerilme ve Güney Ege Hendeği boyunca Afrika Okyanusal litosferinin güneye doğru çekilmesi ile (roll-back) sonucunda Batı Anadolu'da horst-graben sistemi gelişmiştir. Çalışma alanı olan Sapanca Havzası KAFS ve Ege Gerilmeli Sistemi'nin etkisindeki transtansiyonel sistem içinde yer alır.

Neotektonik dönemin bir ürünü olan KAFS'nin kuzey kolu Sapanca Havzası'ndan, güney kolu da İznik Havzası'ndan geçmektedir. Bunun sonucunda da bu her iki havzanın bulunduğu alan çökerek bir çek-ayır havza haline gelmiştir. Bu iki çöküntü alanının ortasında yer alan Samanlı Dağları da yükselerek bir basınç sırtı (push-up) yapısı oluşturmuştur (Ay, 2012).



Şekil 3.13.Türkiye ve yakın dolayının neotektonik haritası. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, KDAFZ: Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonu (Şengör ve Yılmaz 1981'den değiştirilerek alınmıştır)

KAFS'nin ortaya çıkışı ile Geç Pliyosen'de Karadeniz yönünden, güneydeki Samanlı Dağları'na doğru yükselen morfolojik yapı bozulmuş, fayın iki kolu arasında yer alan Samanlı Dağları kütlesi basınç sırtı şeklinde yükselmeye başlamış ve çevre morfolojisinden soyutlanmıştır. KAFS'nin kuzeyinde kalan Kocaeli Yarımadası'nın yüzeyi ise genel olarak kuzeye doğru eğimlenmiştir (Emre ve Kazancı 1998).

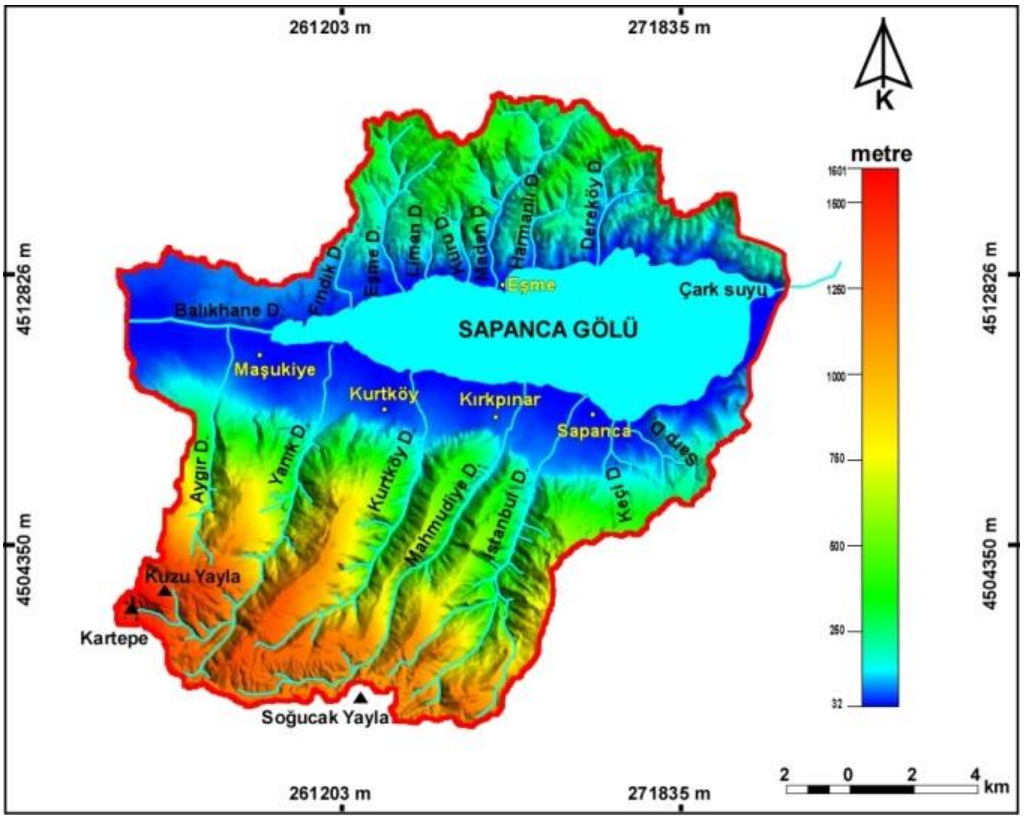
3.4. Hidroloji

3.4.1. Sapanca gölü

Sapanca Gölü, coğrafi olarak İzmit Körfezi'nin 20 km doğusunda 40° 41' ile 40° 44' kuzey enlemleri ve 30° 09' ile 30° 20' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Göl havzası idari olarak Kocaeli ve Adapazarı illeri arasında bölünmüş olup, 39 km göl kıyı şeridinin 26 km'si Sakarya, 13 km'lik kısmı ise Kocaeli il sınırları içinde kalmaktadır.

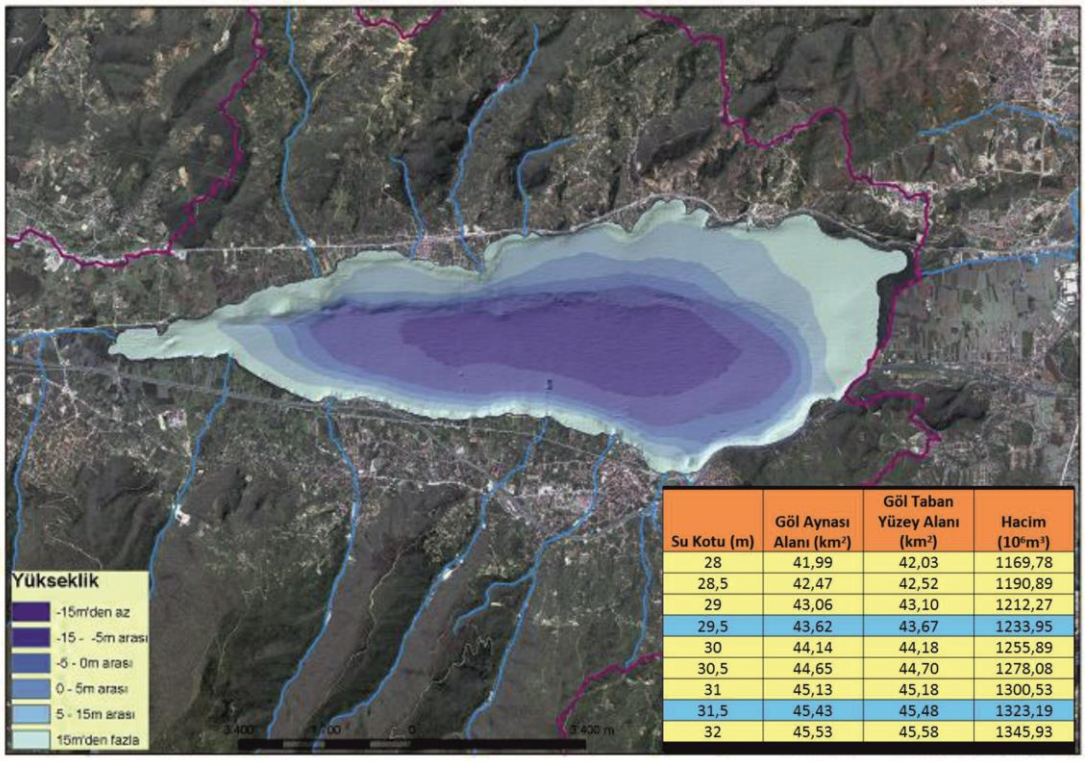
Gölün yüzey alanı 46 km^2 ve deniz seviyesinden olan yüksekliği 30 m'dir. Göl uzun ekseni 17 km, kısa ekseni 6 km olan eliptik bir şekle sahiptir. Uzun ekseni doğu-batı, kısa ekseni kuzey-güney istikametindedir.

Ortalama derinliği 23-26 m arasında değişmekte olan gölün en derin yeri 55 m'dir (TÜBİTAK, 2010). Sapanca Göl Havzası'nın beslenme alanı yaklaşık 275 km^2'dir ve ağırlıklı olarak gölün güney kısmını kapsamaktadır. Gölün tahliyesi Çarksuyu ile sağlanmaktadır. Uzunluğu 45 km olup, Sapanca Gölü'nün doğusundan çıkarak Sakarya Nehri'ne dökülmektedir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Sapanca Gölü yüzey suyu toplama havzası ve yükseklik haritası

Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından 1970 yılında Çarksuyu üzerine 29,90 m eşik kotunda yerleştirilen regülatör, taşkınlara karşı göl seviyesinin kontrol altında tutulması için 28 m ile 32 m arasında işletilmektedir (Gönenç ve diğ., 1994). Göl aynası alanı 29,50 m kotunda 43,6 km^2 ve 31,50 m işletme kotunda 45,43 km^2'dir. Gölün 31,50 m deki hacmi ise 1,323 x 10^9 $m^{3'}$ tür (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Sapanca Gölü'nün batimetrisi ve göl su kotu-hacim ilişkisi (TÜBİTAK, 2010)

DSİ, göl aktif hacmini 69 milyon m^3 maksimum verimini 136 milyon m^3 minimum (emniyetli) verimini ise 128 milyon m^3 olarak belirlemiştir. Gölün doğal çıkışını sağlayan Çark Deresi'nin ekolojik dengesi için yıllık 10 milyon m^3 suyun bırakılması gerektiği belirtilmiştir (DSİ, 1983).

Sapanca Gölü büyük oranda havzanın kuzey ve güneyindeki dağlardan boşalan dereler ile ve yeraltı suyu boşalımları ile beslenmektedir. Gölü besleyen havzanın kuzeyindeki derelerin çoğu yaz aylarında tamamen kurumaktadır. Göl, sürekli olarak kendini yenileyebilen bir hidrolojik rejime sahiptir. Sapanca Gölü'nün farklı tarihler de yapılan çalışmalarda belirlenen hidrolik bekleme süreleri 5,4 ile 6,5 yıl arasında değişmektedir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Sapanca Gölü'nün farklı tarihler için belirlenmiş hidrolik bekleme süresi

DSİ (1984)	**Baykal vd., (1996)**	**TÜBİTAK (2010)**
5,43 yıl	6 yıl	6,48 yıl

3.4.2. Akarsular

Bölgenin iklim, jeomorfolojik ve tektonik özellikleri nedeniyle göl drenaj alanının özellikle güney kesiminde iyi bir akarsu şebekesi gelişmiştir. Güneydeki dereler dik yataklı olup ani taşkınlara neden olmaktadır. Bu nedenle güneydeki dereler çok miktarda sediman taşımaktadır. Gölü besleyen irili ufaklı 17 dere bulunmaktadır (Şekil 3.14). Gölü güneyden besleyen dereler doğudan batıya doğru, Sarp Dere, Keçi Dere, İstanbul Dere, Mahmudiye Dere, Kurtköy (Kuruçay) Dere, Yanık (Karaçay) Dere, Maşukiye (Aygır) ve Balıkhane Dere'dir. Derelerin uzunlukları 2 ile 14 km arasında değişmektedir (Tablo 3.2). Göle güneyden karışan derelerin beslenme alanlarını, Keltepe, Soğucak Yaylası, Doğansivri ve Hacımercan tepelerinin kuzeye bakan yamaçları oluşturur. Kuzey kesimde kalan önemli dereler ise Maden Dere, Kuru Dere, Liman Dere ve Eşme Dere'dir. Bu derelerin uzunlukları, yağış alanları ve debileri güney derelerine göre nispeten daha azdır. Yaz mevsiminde Maden Dere dışındaki tüm dereler tamamen kurur. Bunun dışında Kasım-Nisan ayları arasında kuzey ve güney derelerin debilerinin en fazla olduğu dönemdir.

Tablo 3.2. Sapanca Gölü'nü besleyen belli başlı derelerin uzunlukları ve ortalama debi miktarları

Dereler	**Doğduğu Yer**	**Uzunluk (km)**	**1981-1984 Ölçümleri (Gönenç ve diğ.,1994)**	**1994-1995 Ölçümleri (Bayrak, 2008)**	**2008-2009 Ölçümleri (TÜBİTAK, 2010)**
			Ortalama debi (m^3/s)	**Ortalama debi (m^3/s)**	**Ortalama debi (m^3/s)**
Sarp Deresi	337 m. Tumba Tepe'nin Güneybatısı	3	0,05	0,06	0,10
Keçi Deresi	790 m. Bozca Tepe'nin Kuzeydoğusu	4,3	0,11	0,11	0,13
İstanbul Dere	620 m. Nuri Osmaniye Alan Sırtı	12,8	0,30	0,90	0,58
Mahmudiye Dere	1000 m. Kurugöller Tepesi	12,4	0,49	0,64	0,49
Kurtköy Dere	1250m. Narlı Tepe'nin Kuzeybatısı	11,8	0,50	0,82	0,46
Yanık Dere	1580 m. Kuzu Yaylası Tepe'nin Güneybatısı	14	0,16	0,13	0,28
Balıkhane Dere	650 m. Geyikalan Tepe'nin Kuzeydoğusu	8,8	1,05	1,10	2,05
Maden Dere	370 m. Kabaklı Tepe'nin Kuzeyi	5,2	-	-	0,15
Harmanlı Dere	280 m	2,72	-	-	0,06
Kuru Dere	250 m	2,28	-	-	0,01

3.4.3. Sapanca gölü su bütçesi

Sapanca Gölü, Kocaeli ve Sakarya illerinin içme, kullanma ve sanayi suyu ihtiyacını önemli ölçüde karşılamaktadır. Sakarya Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi (SASKİ) Genel Müdürlüğü, 50 milyon m^3/yıl'ın üzerindeki evsel su ihtiyacını Sapanca Gölü'ndeki Esentepe terfi istasyonundan sağlamaktadır. Sapanca Gölü'nden yararlanan diğer bir kurum ise Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSU) Genel Müdürlüğü'dür. İSU, İçme suyu ihtiyacını öncelikli olarak Yuvacık Barajı'ndan sağlamaktadır, kuraklık gibi barajın yetersiz kaldığı dönemlerde İSU Sapanca Gölü'nden faydalanmaktadır. Özellikle 2006 yılında yaşanan kuraklık sonrası İSU Genel Müdürlüğü tarafından Sapanca Gölü'nden Yuvacık Barajı'na ham su desteği sağlamak amacıyla Sapanca Gölü Terfi Sistemi kurulmuştur. Yuvacık barajı ile Sapanca Gölü arasında kurulan bu isale hattı çift yönlü çalıştırılmaktadır. Özellikle kış aylarında veya taşkın sonrası barajdaki su seviyesinin yükseldiği dönemlerde Yuvacık Barajı'ndan bırakılan su kendi cazibesi ile Sapanca Terfi Merkezi'ne oradan da Sapanca Gölü'ne aktarılmaktadır. Kocaeli'de bulunan TÜPRAŞ tesisleri su ihtiyacını Sapanca Gölü'nden karşılamaktadır.

Sapanca Gölü için oluşturulan bütçe hesabında ana girdileri; gölü besleyen dereler ve göl yüzeyine düşen yağış, Göl çıktılarını ise Çarksuyu Deresi, kurumlar (SASKİ, İSU, TÜPRAŞ vb.) tarafından gölden kullanım amacıyla çekilen sular ve buharlaşma kayıpları oluşturmuştur.

Sapanca Gölü'nü besleyen derelerin debileri için TÜBİTAK (2010) kapsamında ölçülen (2008-2009) debi değerleri kullanılmıştır (Tablo 3.3). Ayrıca bu çalışma kapsamında Sapanca Göl su bütçesinin oluşturulması amacıyla DMİ, DSİ, SASKİ ve İSU'dan temin edilen (aylık ortalama yağış, buharlaşma, kurumların gölden su çekim miktarları, Çarksuyu miktarı vs. kullanılarak) veriler kullanılmıştır (Tablo 3.4). Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veriler kullanılarak her ay için göle giren ve gölden çıkan akımlar toplanarak göl su hacmindeki değişim (ΔS) hesaplanmıştır. Hesaplanan su hacimleri ΔS değerinin bir önceki ayın göl su hacmiyle toplanmasıyla bulunmuştur (TÜBİTAK, 2010). Bu hesaplama için Denklem (3.1) kullanılmıştır;

$$\text{Hacim}(t)=\text{Hacim}(t-1)+\Delta S \qquad (3.1)$$

Hacimlerin hesaplanmasından sonra, Sapanca Gölü batimetri haritasından (Şekil 3.15) oluşturulan göl su kotu–yüzey alanı ve su hacmi ilişkisi grafiklerinden o hacime karşılık gelen göl su kotları hesaplanmıştır (Şekil 3.16). Hesaplanan göl su kotları, DSİ III. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen gerçek su kotları ile karşılaştırılarak aradaki fark ve su miktarı belirlenmiştir. Bundan dolayı göl su bütçesi oluşturulurken fark su dengesi metodu kullanılmıştır (TÜBİTAK, 2010) (Şekil 3.16).

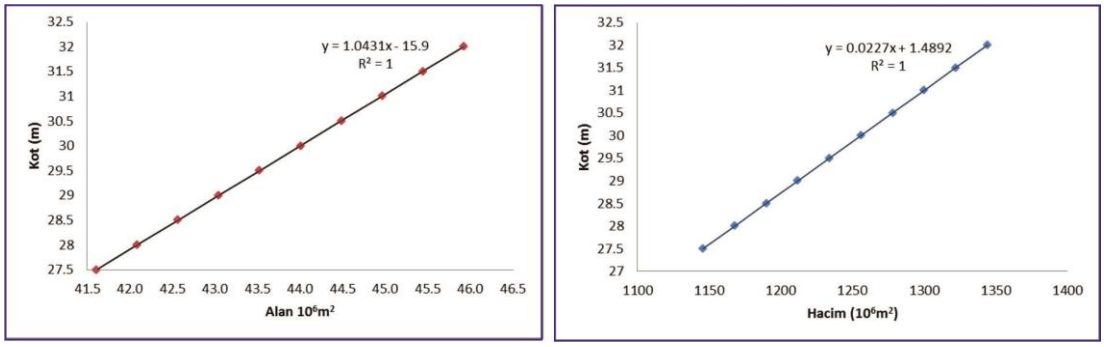
Bu metoda göre bütçede ana girdi ile çıktı arasında oluşan farkın 96 milyon m^3 olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.4). Oluşan bu farkta özellikle havzanın güneyindeki akifer sistemlerinden göle olan yeraltı suyu boşalımının etkili olduğu öngörülmektedir. Ancak kurum ve kuruluşların gölden çektikleri su miktarının tam anlamıyla bilinememesi, göle olan yeraltı suyu katkısının da net olarak ortaya konulmasına engel olmaktadır.

Tablo 3.3. 2008-2009 yılları için Sapanca Havzası'nı güneyden ve kuzeyden besleyen derelerin aylık debi ortalamaları (TÜBİTAK, 2010)

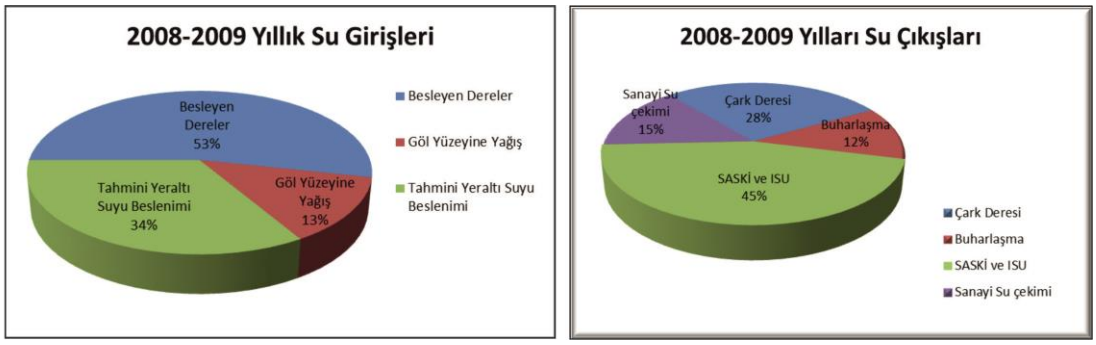
Ölçüm Dönemi (Ekim 2008-Eylül 2009)	Güney Dereler								Kuzey Dereler				Dere ΣQ (m^3/ay)
	Balıkhane	Maşukiye	Yanık	Kurtköy	Mahmudiye	İstanbul	Keçi	Sarp	Değirmen	Maden	Harmanlı	Kuru	
	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	
Ekim	1,11	0,17	0,05	0,13	0,25	0,30	0,01	0,03	0,15	0,01	0,00	0,00	5.717.952
Kasım	0,86	0,16	0,01	0,16	0,02	0,04	0,02	0,07	0,04	0,01	0,00	0,00	3.605.472
Aralık	0,92	0,16	0,07	0,11	0,06	0,15	0,06	0,06	0,01	0,04	0,01	0,00	4.263.840
Ocak	2,57	0,50	0,89	0,91	0,41	1,69	0,14	0,20	0,20	0,26	0,07	0,02	20.365.344
Şubat	6,62	0,55	1,26	1,26	1,32	1,59	0,37	0,13	0,32	0,52	0,03	0,01	36.199.872
Mart	4,23	0,55	1,49	1,38	1,78	0,83	0,30	0,34	0,31	0,35	0,35	0,09	31.111.776
Nisan	3,46	0,36	1,08	0,92	1,33	0,86	0,51	0,29	0,27	0,33	0,13	0,05	24.862.464
Mayıs	1,70	0,36	0,32	0,25	0,65	0,68	0,06	0,01	0,19	0,19	0,07	0,01	11.591.424
Haziran	0,91	0,22	0,01	0,13	0,00	0,03	0,01	0,05	0,05	0,10	0,03	0,00	3.990.384
Temmuz	0,19	0,10	0,03	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,03	0,00	1.149.552
Ağustos	0,30	0,09	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	1.192.320
Eylül	1,72	0,12	0,50	0,17	0,00	0,80	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	8.644.320
TOPLAM	24,58	3,32	5,72	5,49	5,83	6,98	1,52	1,22	1,53	1,83	0,72	0,17	152.694.720

Hesaplanan dönemler için göle giren ve çıkan suların oranları Şekil 3.17'de gösterilmiştir. Buna göre gölden çıkan suların yaklaşık %60'lık kısmını sanayi ve kurumlar, %12'lik kısmını buharlaşma, %28'lik kısmını ise Çarksuyu'ndan yapılan tahliye oluşturmaktadır. Gölün beslenimine katkı sağlayan suların %53 ile en büyük oranını dereler oluştururken bir diğer önemli girdi ise %34'lük oran ile yeraltı suyudur. Göl yüzeyine düşen yağışın oranı ise %13'tür.

Sapanca Havzası'nın güneyinde kurumlara ve özel içme suyu fabrikalarına ait kaynakların debilerinin toplamı yaklaşık 232 lt/s'dir (Hidrojeoloji bölümüne bknz.). Bu kaynakların yıllık toplamı 7,3 milyon m^3'tür. Bu kaynak sularının kurumlar veya firmalar tarafından kullanılmaması durumunda yüzeysel akışa geçeceği düşünülürse göl beslenim oranları içinde %53 olan dere girdisini %54 yaparak sadece %1' lik bir artışa neden olmaktadır.



Şekil 3.16. Göl bütçe hesabı için oluşturulan göl su kotu- göl yüzey alanı ve göl su kotu- göl su hacim ilişkisi



Şekil 3.17. Sapanca Gölü için yıllık su giriş ve çıkış oranları

Tablo 3.4. 2008-2009 yılı verileri kullanılarak oluşturulan Sapanca göl su bütçesi (TÜBİTAK, 2010)

Tarih	GİRİŞLER		ÇIKIŞLAR				DEPO DEĞİŞİM	HESAPLANANLAR					
	Dere $10^6 m^3$/ay	Yağış $10^6 m^3$/ay	Buharlaşma $10^6 m^3$/ay	Çark Deresi $10^6 m^3$/ay	Kentsel Su Çekimi $10^6 m^3$/ay	Sanayi Su Çekimi $10^6 m^3$/ay	ΔS $10^6 m^3$	Göl Alanı $10^6 m^2$	Gerçek Göl Su Kotu (m)	Gerçek Göl Su Hacmi $10^6 m^3$	Hesaplanan Göl Su Kotu (m)	Hesaplanan Göl Su Hacmi $10^6 m^3$	FARK $10^6 m^3$
Eyl.08									31,27	1311,93		1311,93	
Eki.08	5,72	4,62	1,67	0,52	7,50	2,43	-1,78	45,22	31,21	1309,29	31,23	1310,17	-0,88
Kas.08	3,61	4,16	1,28	0,72	7,28	2,43	-3,94	45,16	31,06	1302,68	31,14	1306,20	-3,52
Ara.08	4,26	4,78	1,15	5,44	7,67	2,43	-7,65	45,02	31,06	1302,68	30,97	1298,71	3,96
Oca.09	20,37	3,93	1,07	1,35	7,58	2,43	11,87	45,02	31,26	1311,49	31,24	1310,61	0,88
Şub.09	36,20	3,20	1,23	27,60	7,08	2,43	1,06	45,21	31,73	1332,19	31,26	1311,49	20,70
Mar.09	31,11	3,01	1,44	4,27	7,40	2,43	18,58	45,66	32,14	1350,26	31,68	1329,99	20,26
Nis.09	24,86	2,61	2,04	6,29	7,07	2,43	9,64	46,06	32,07	1347,17	31,90	1339,68	7,49
May.09	11,59	2,17	2,42	4,32	7,53	2,43	-2,94	45,99	31,99	1343,65	31,83	1336,60	7,05
Haz.09	3,99	2,60	3,14	3,45	7,69	2,43	-10,12	45,91	31,85	1337,48	31,60	1326,47	11,01
Tem.09	1,15	1,84	3,36	1,32	7,67	2,43	-11,79	45,78	31,64	1328,23	31,34	1315,01	13,22
Ağu.09	1,19	2,31	2,99	0,21	8,26	2,43	-10,39	45,58	31,37	1316,33	31,10	1304,44	11,89
Eyl.09	8,64	2,12	2,42	0,23	7,74	2,43	-2,06	45,32	31,14	1306,20	31,05	1302,24	3,96
TOPLAM	**152,69**	**37,35**	**24,21**	**55,72**	**90,47**	**29,16**							**96,04**

3.4.4. Hidrolojik bütçe elemanları

Sapanca Havzası ve civarında 3 adet meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Bunlardan 1690 numaralı Sapanca İstasyonu kapatıldığı için ancak 2007 yılına kadar olan veriler mevcuttur. Diğer iki istasyon ise 17069-Sakarya ile 17066-Kocaeli istasyonlarıdır. Bu istasyonlar sırasıyla deniz seviyesinden 30 ve 75 m yükseklikte bulunmaktadır. 275 km^2'lik Sapanca Havzası'nın yaklaşık %50'sini 200 m ve üzerindeki alanlar oluşturmaktadır. Ayrıca bölgenin güneyi çok sık bitki örtüsü ve geniş ormanlık alanlara sahiptir. Bu durumda yüksek kesimlere düşen yağış ve bu alanlardan gerçekleşecek buharlaşma-terleme daha fazla olacaktır. Sonuç olarak mevcut istasyonlardan elde edilen meteorolojik veriler 30 m ile 1600 m arasındaki yüksekliğe sahip havzanın tamamını karakterize etmeyecektir. Bu durumda mevcut veriler ile havzaya düşen yağış veya havzadan gerçekleşecek buharlaşma ova kesimlerini karakterize eden değerler verecektir.

Sapanca Havzası içinde 2007 yılına kadar ölçüm yapan 1690 numaralı Sapanca İstasyonu'na ait 37 yıllık verilerin aylık ortalama sıcaklık ve yağış verileri Sakarya Meteoroloji İstasyonu'ndan temin edilmiştir. Potansiyel ve gerçek buharlaşma değerleri ise Thornthwaite yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar yapılırken topraktaki faydalı su yedeği 100 mm olarak kabul edilmiştir (Tablo 3.5).

Sapanca Ovası'na düşen ortalama yağış miktarı (1970-2007) 830 mm'dir. Thornthwaite yöntemine göre Sapanca Ovası için potansiyel buharlaşma değeri (Etp) 671 mm, gerçek buharlaşma-terleme (Etr) ise 541 mm olarak hesaplanmıştır.

Ova için oluşturulan yağış, potansiyel ve gerçek buharlaşma grafiğine göre, Kasım ayında zemin suya tam doygun hale gelmiş ve bunu takip eden aylardan Mayısa kadar bölgede yağış kaynaklı su fazlası oluşmuştur. Akiferlerin yağıştan beslenimi büyük oranda Kasım-Mayıs arasında gerçekleşmektedir. Grafikte, Ocak ayından Nisan ayının sonuna kadar ve Ekim ile Aralık aylarında yağışın (P) potansiyel buharlaşmadan (Etp) fazla olduğu görülmektedir. 100 mm olarak kabul edilen zemin nem rezervi ise Mayıs ayının başından Temmuz ayı başına kadar harcanmıştır. Temmuz ayı başından Eylül ayı sonuna kadar gerçekleşen su noksanı ise 201 mm'dir (Şekil 3.18).

Havza çalışmalarında yeraltı suyu potansiyelinin belirlenebilmesi için hidrolojik bütçe elemanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için meteorolojik verilerin alındığı istasyonlar havzayı karakterize edecek sayıda ve nitelikte olmalıdır.

Özellikle Sapanca gibi önemli içme suyu havzalarında meteorolojik istasyonların konumu ve sayısı yapılacak hidrolojik ve hidrojeolojik çalışmalar açısından önem arz etmektedir. Yeraltı su potansiyelinin sağlıklı olarak hesaplanabilmesi için havzayı karakterize edecek meteorolojik verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Sonuç olarak 1690 Sapanca İstasyon verilerine ait meteorolojik veriler kullanılarak hesaplanacak yeraltı suyu bütçe hesabı hatalı sonuçlara sebebiyet verecektir.

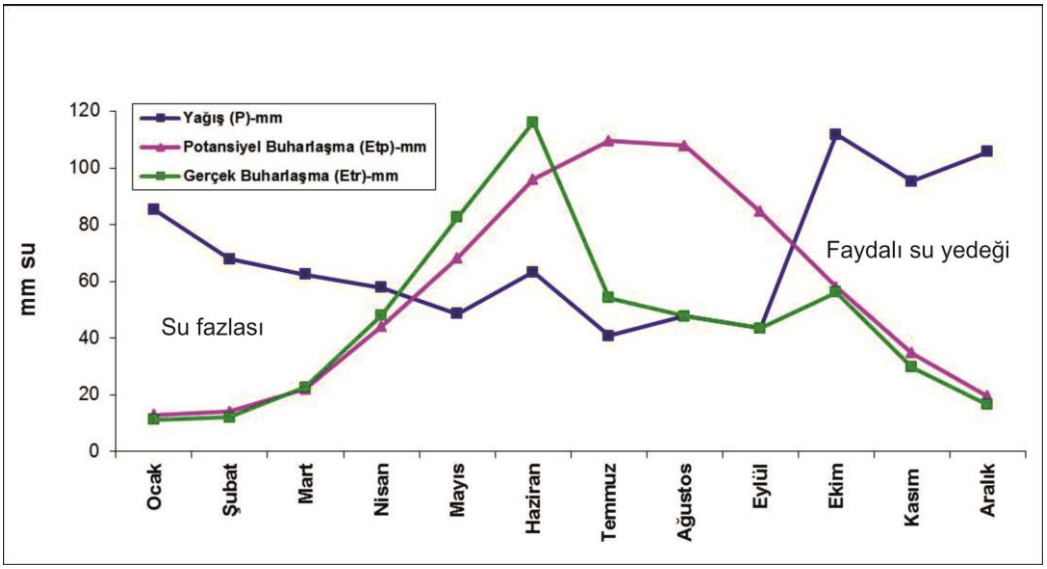
Sapanca Ovası'na düşen 37 yıllık (1970-2007) ortalama yağış miktarı ise 830 mm'dir. Ova için buharlaşma değeri 541 mm'dir. 2008-2009 yılları arasında derelerde yapılan debi ölçümleri (TÜBİTAK, 2010) kullanılarak havzanın güneyi için hesaplanan gerçek yüzey akışı toplamı 136 mm, su fazlası 290 mm ve süzülme miktarı (su fazlası-gerçek yüzey akışı) 154 mm'dir.

Sapanca Ovasını oluşturan alüvyonun alanı yaklaşık 30 km^2'dir. Bu alana düşen yağış toplamı yaklaşık 25 milyon m^3, buharlaşma miktarı 16,2 milyon m^3, süzülme miktarı ise 4,6 milyon m^3'tür. Ovaya düşen yağışın %65'i buharlaşırken, %18 lik kısmı ise süzülmektedir. Alüvyona düşen yağışın yaklaşık %17'lik kısmı ise yüzeysel akışa geçmektedir.

Sonuç olarak alüvyonun sadece yağıştan beslenimi yaklaşık 4,6 milyon m^3'tür. Havzanın güneyindeki kireçtaşlarından alüvyona olan boşalım miktarı ile yüzeysel akıştan gerçekleşen beslenim ise bu hesaba dâhil değildir.

Tablo 3.5. Sapanca Ovası için Thornthwaite Metodu ile potansiyel ve gerçek buharlaşma hesabı

SAPANCA-(1970-2007)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Toplam (mm)
Aylık Sıcaklık (°C)	5,19	5,50	7,49	12,18	16,49	20,92	22,93	22,70	19,16	14,73	10,28	6,89	
Sıcaklık İndisi	1,06	1,16	1,84	3,85	6,09	8,73	10,03	9,88	7,64	5,13	2,98	1,62	**60**
Potansiyel Buharlaşma (Etp)-(mm)	12,98	14,13	21,98	44,18	68,21	95,92	109,46	107,84	84,58	57,99	34,65	19,50	**671**
Enlem Düzeltme Katsayısı	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85	
Düzeltilmiş Etp (mm)	11,29	12,01	22,63	48,16	82,54	116,06	134,63	125,10	87,12	56,25	29,80	16,57	**742**
Yağış (P)-mm	85,39	67,84	62,37	57,85	48,66	63,33	40,75	47,81	43,52	111,80	95,36	105,74	**830**
Faydalı su yedeği (mm)	100	100	100	100	66,16	13,40	0	0	0	55,55	100	100	
Gerçek Buharlaşma (Etr)-mm	11,29	12,01	22,63	48,16	82,54	116,06	54,15	47,81	43,52	56,25	29,80	16,57	**541**
Su Fazlası (mm)	74,10	55,83	39,73	9,69	-	-	-	-	-	-	21,15	89,13	**290**
Su Noksanı (mm)	-	-	-	-	-	-	80,48	77,28	43,60	-	-	-	**201**
Gerçek Yüzey Akışı (mm) (2008-2009)	19,58	34,81	29,92	23,91	11,15	3,84	1,11	1,15	8,31	5,50	3,47	4,10	**136**

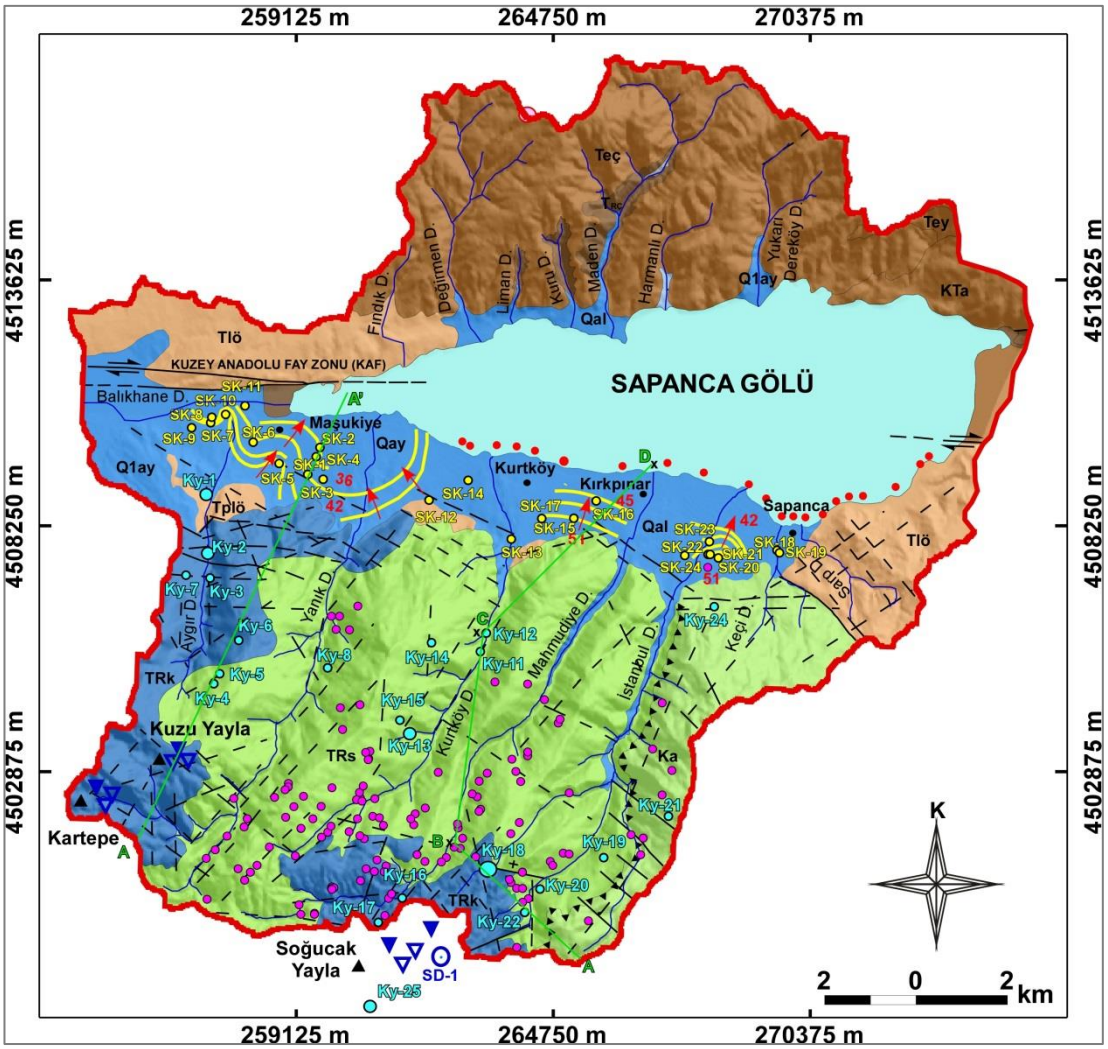


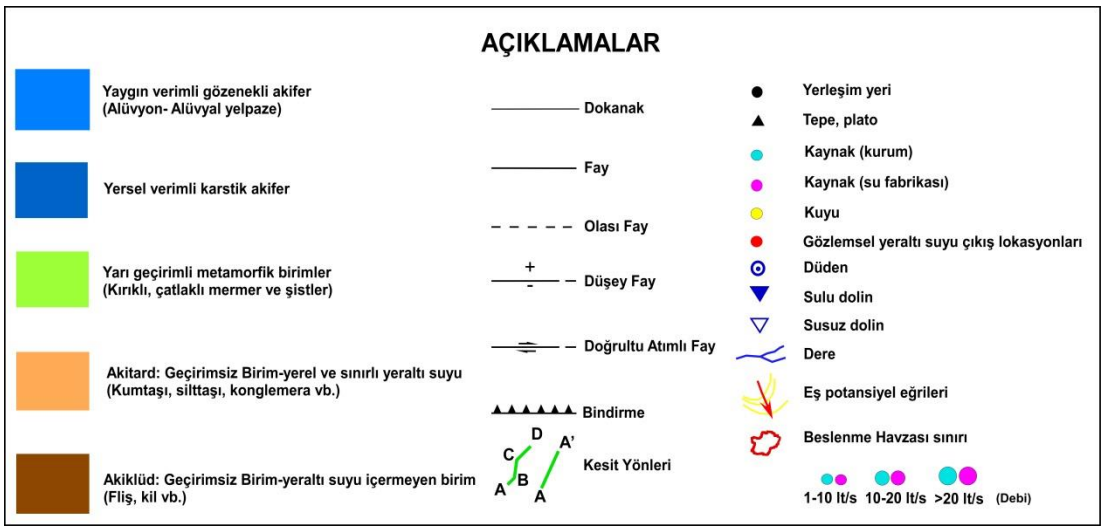
Şekil 3.18. Sapanca Ovası'na ait yağış, potansiyel ve gerçek buharlaşma diyagramı

3.5. Hidrojeoloji

Bu bölümde Sapanca Havzası'nın hidrojeolojik özellikleri belirlenerek havzanın güneyindeki akifer sistemleri ve göl arasındaki ilişki ortaya konmuştur. Ayrıca havzadaki jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre ayırtlanarak havzanın hidrojeoloji haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.19, Ek-4).

Havza sınırları içinde özellikle Sapanca Gölü'nün güneyinde doğu-batı doğrultulu bir hat boyunca uzanan ve kısmende kuzeyinde küçük bir alanda bulunan alüvyon ve alüvyal yelpaze; yaygın verimli gözenekli ortam akiferi, Keltepe Mermerleri; yersel verimli karstik akifer ortam, Sultaniye Metamorfitleri; yarı geçirimli metamorfik birimler, Örencik Formasyonu; Akitard ve Sapanca Gölü'nün kuzeyinde genellikle fliş özelliği gösteren birimler ile doğu ve batı sınırlarında bulunan bataklık fasiyesinin olduğu alanlar Akiklüd olarak sınıflandırılmıştır.





Şekil 3.19. Sapanca Havzası'nın Hidrojeoloji Haritası

3.5.1. Karst akifer sistemi

Sapanca Göl Havzası'nda iki temel akifer sistemi mevcuttur. Bunlardan birincisi havzanın güneyinde geniş bir yayılım gösteren Triyas yaşlı kırıklı, çatlaklı ve karstik özellik gösteren mermer ve rekristalize kireçtaşları içinde gelişmiş karstik akiferdir (Şekil 3.19). Bölgenin jeolojik dönemler boyunca maruz kaldığı tektonik hareketler neticesinde bu bölgedeki kayaçlar oldukça yoğun bir deformasyona maruz kalmıştır.

Karstik sistemlerin tipik özelliğini gösteren beslenme alanlarında gelişmiş çöküntü alanları (uvala), dolinler, düdenler ve karstik mağaralar havza içinde oldukça yaygındır. Bölgede yer alan karstik kaynakların beslenme alanını Triyas yaşlı Keltepe Mermerleri olarak bilinen rekristalize kireçtaşı ve mermer birimlerinin oluşturduğu Soğucak, Kartepe ve Kuzu Yaylası'nın geniş düzlükleri oluşturmaktadır (Şekil 3.20, Şekil 3.21). Bölgenin güneyinde yer alan Soğucak Yaylası ile Kartepe ve Kuzu Yayla üzerinde gelişmiş irili ufaklı, genişlikleri derinliklerinden fazla olan birçok dolin yer almaktadır (Şekil 3.20, Şekil 3.21). Genel olarak daire veya elips şeklindedirler. Bu yapıların çok büyük bir kısmı mermerler içerisinde gelişen karstik akifer sistemleri ile bağlantılıdır.

Sapanca ve Kurtköy arasında ki kaynakların beslenim alanını Soğucak Yaylası (Şekil 3.20) oluştururken Maşukiye bölgesindeki kaynakların beslenme alanını Kartepe ve Kuzu Yayla'nın geniş düzlükleri oluşturmaktadır (Şekil 3.21). Sonuç olarak havzanın güneyindeki kaynaklar; beslenme alanı, dolaşım ve boşalım özellikleri bakımından Soğucak Yaylası sisteminin ve Kartepe sisteminin kontrolü altındadır.

Sapanca Havzası'nın beslenme alanını oluşturan Soğucak Yaylası üzerinde 1200 m kotunda Suyutan Düdeni (SD-1) bulunmaktadır. Bu düden Soğucak Yaylası üzerinde eriyen kar ve yağmur sularını düdene getiren Sazlı Dere ile bağlantılıdır (Şekil 3.22).



Şekil 3.20. Soğucak Yaylası (1200 m) beslenim alanı üzerinde gelişen karstik yapılar a) Polye, b) Uvala, c) Dolin (sulu), d) Düden



Şekil 3.21. Kartepe Yaylası (~1500 m) beslenim alanı üzerinde gelişen karstik yapılar (polye, dolin vb.)



Şekil 3.22. Soğucak Yaylası'nda bulunan Sazlı Dere ve Suyutan Düdeni (SD-1)

Sapanca Havzası'nın güney kesiminde 172 m ile 1135 m kotları arasında boşalan irili ufaklı birçok karstik kaynak bulunmaktadır. Bu kaynakların 22 tanesi İSU (İzmit Su ve Kanalizasyon İdaresi) ve SASKİ (Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi) kurumlarının kontrolünde olup, bölgedeki köy ve mahallelerin içme suyu ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla kullanılmaktadır (Tablo 3.6).

Kaynaklar Triyas yaşlı Sultaniye Metamorfitleri ve Keltepe Mermerleri'ne ait birimler içinden, çoğu kırık ve çatlaklardan, bir kısmı şist ve mermer dokanaklarından ve karstik mağaralardan boşalmaktadır (Şekil 3.23).

Bu çalışma kapsamında, beslenme alanındaki yapısal kontrollü yeraltı suyu dolaşım mekanizmasını belirlemek amacıyla bölgenin güney kesiminin kırık haritası oluşturulmuştur. Kırık analizleri yeraltı sularının depolanması ve beslenim-boşalım ilişkilerinin anlaşılması açısından önemli ipuçları vermektedir. Bölgedeki kırıkların hâkim doğrultusu KD ve KB olarak belirlenmiştir. Kırıklar, Sultaniye Metamorfitleri ve Keltepe Mermerleri içindeki birimlerde yoğunlaşmaktadır. Kaynaklar çoğunlukla bu kırık hatları üzerinde yer almaktadır ve bu kırıkların genellikle karstik akifer sistemindeki yeraltı sularının dolaşımını kontrol ettiği görülmektedir (Şekil 3.19, Ek-4).

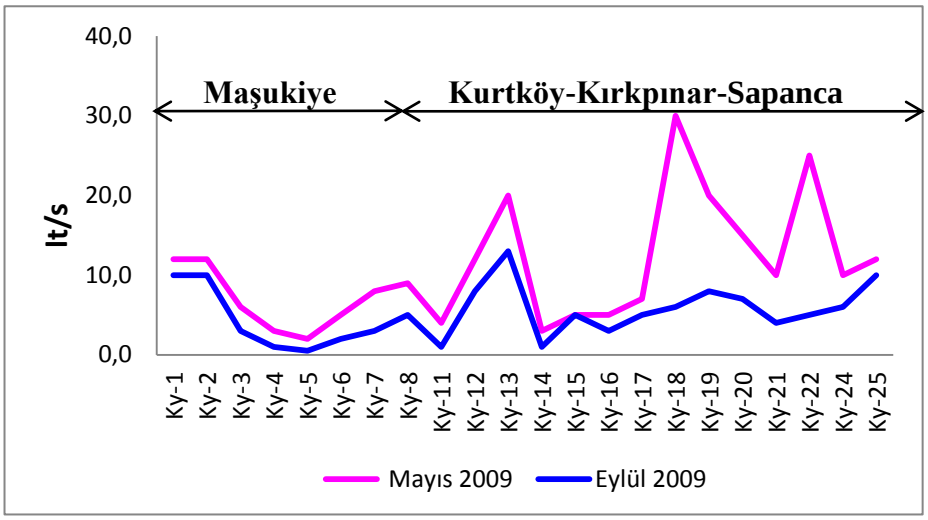
Tablo 3.6. Sapanca Havzası'nın güneyindeki kaynakların boşalım kotları, koordinat ve debi bilgileri

Kaynak No	Lokasyon	Kaynak Adı	X	Y	Kot(m)	Debi lt/s (Mayıs 2009)	Debi lt/s (Eylül 2009)	Kurum
Ky-1	Maşukiye	Hamamsu	257176	4508959	197	12,0	10,0	İSU
Ky-2	Maşukiye	Akpınar	257178	4507591	438	12,0	10,0	İSU
Ky-3	Maşukiye	Dalar Batar	257238	4507108	414	5,0	3,0	İSU
Ky-4	Maşukiye	Ardıç Kaynağı	257320	4504797	1022	3,0	2,0	İSU
Ky-5	Maşukiye	Can cekti	257449	4505016	960	1,5	1,0	ÖZEL
Ky-6	Maşukiye	Osman Efendi	257866	4505746	919	4,0	0,5	İSU
Ky-7	Maşukiye	Muşmula suyu	256711	4507170	497	5,0	3,0	İSU
Ky-8	Yanık	Yanık	259812	4505144	631	9,0	1,0	SASKİ
Ky-11	Kurtköy	Kurtköy dere	263154	4505500	230	1,0	1,0	SASKİ
Ky-12	Kurtköy	İncirlikaya	263284	4505905	200	8,0	6,5	SASKİ
Ky-13	Kurtköy	Şahinkaya2	261529	4503690	600	15,0	8,5	SASKİ
Ky-14	Kurtköy	Dibektaş	262085	4505694	685	3,0	0,5	SASKİ
Ky-15	Kurtköy	Şahinkaya1	261393	4504000	725	5,0	0,3	SASKİ
Ky-16	Kırkpınar	Beşpınar	261444	4500113	1096	5,0	5,0	SASKİ
Ky-17	Sapanca	Soğucak	260921	4499580	1135	1,0	-	SASKİ
Ky-18	Sapanca	Mağara	263224	4500662	1059	30,0	6,0	SASKİ
Ky-19	Sapanca	Ziyabey	265854	4500996	631	6,0	4,0	SASKİ
Ky-20	Sapanca	Kayakıran	264460	4500309	647	6,0	5,0	SASKİ
Ky-21	Sapanca	Nikola	267271	4501901	631	4,0	3,0	SASKİ
Ky-22	Sapanca	Doksanbeş	264125	4499799	1096	7,0	3,0	SASKİ
Ky-24	Sapanca	Yedigözler	268273	4506482	172	6,0	3,0	SASKİ
Ky-25	Sapanca	Gümüşdere	260814	4497435	940	12,0	8,0	SASKİ



Şekil 3.23. Sapanca Havzası'nın güneyindeki kaynakların çıkış mekanizmalarına örnek a) Mermer birimlerdeki kırıktan boşalım-Dalarbatar Kaynağı b) Şist-mermer dokanağından boşalım-Şahinkaya Kaynağı c) Fay kontağından boşalım-Doksanbeş Kaynağı d) Karstik boşalım-Mağara Kaynağı

Bölgedeki kaynakların yağışlı ve kurak dönemi temsil eden Mayıs-Eylül (2009) ayları içinde yapılan debi ölçümleri Tablo 3.6'da sunulmuştur. Ayrıca kaynakların mevsimsel debi değişimleri grafikte gösterilmiştir (Şekil 3.24). Bölgedeki kaynakların, yağışlı dönem boyunca verimleri oldukça yüksektir. Maşukiye bölgesindeki kaynakların ölçülen dönemler için debi değerleri 1-12 lt/s arasında değişirken, yağışlı ve kurak dönemler arasında çok büyük bir fark gözlenmemektedir. Sapanca bölgesindeki kaynakların, ölçülen dönemler içindeki debi değerleri 0,3-30 lt/s arasında değişirken, yüksek kotlu bölgelerdeki kaynakların bir kısmının debisi kurak dönemde (Ağustos-Kasım) çok azalmaktadır (Şekil 3.24, Şekil 3.25).



Şekil 3.24. Sapanca Havzası'nın güneyindeki kaynakların (Tablo 3.6) mevsimsel debi değişimleri



Şekil 3.25. Soğucak Kaynağı'nın (Ky-17, 1135 m) mevsimsel debi değişimleri a)kurak dönem (Eylül 2009), b)yağışlı dönem (Nisan 2010)

Havzanın güneyinde ayrıca 122 kaynak suyu 17 adet ruhsatlı içme suyu fabrikası tarafından doğal kaynak suyu ve mineralli su olarak işletilmektedir (Şekil 3.19, Ek-3). İşletilen bu kaynakların toplam kaynak ve tahsis debileri Tablo 3.7'de verilmiştir (SASKİ 2015). Su firmaları tarafından işletilen kaynakların toplam debisi 112 lt/s'dir. Kurumlar tarafından kullanılan kaynakların toplam debisi ise ortalama 120 lt/s'dir. Bu kaynakların kurumlar tarafından ve özel içme suyu fabrikaları tarafından kullanılan toplam hacmi sırasıyla 3,8 milyon m^3/yıl ile 3,5 milyon m^3/yıl'dır. Sonuç olarak havzanın güneyindeki kaynaklardan yıllık toplam 7,3 milyon m^3/yıl su kullanılmaktadır.

Tablo 3.7. Sapanca Havzası'nın güneyindeki su fabrikaları tarafından işletilen kaynakların toplam kaynak ve tahsis debileri

KAYNAK TÜRÜ	Denetlenen Kaynak Sayısı	İzinli Debi (lt/s)	Kullanılan Debi (lt/s)	Toplam Kaynak Debisi (lt/s)
Doğal Kaynak Suyu	41	44,5	35,7	60,06
Doğal Mineralli Su	81	55,6	33,3	37,46
Tahsis Olmayan	5	-	15,6	14,75
TOPLAM	127	100,1	84,6	112,27

Maşukiye ve Sapanca bölgesindeki kaynakların debilerinde mevsimsel olarak gözlenen değişkenliklerdeki büyük farklılık, jeolojik açıdan Maşukiye bölgesindeki Keltepe Mermerleri'nin daha masif bir yapıya sahip olması, Sapanca bölgesindeki (Kurtköy-Kırkpınar-Sapanca) mermerlerin ise daha kırıklı ve çatlaklı bir yapı göstermesi ile açıklanabilir. Bu durum ayrıca, Sapanca Havzası'nda metamorfikler içinde gelişmiş birden fazla depolama sisteminin varlığını da işaret etmektedir.

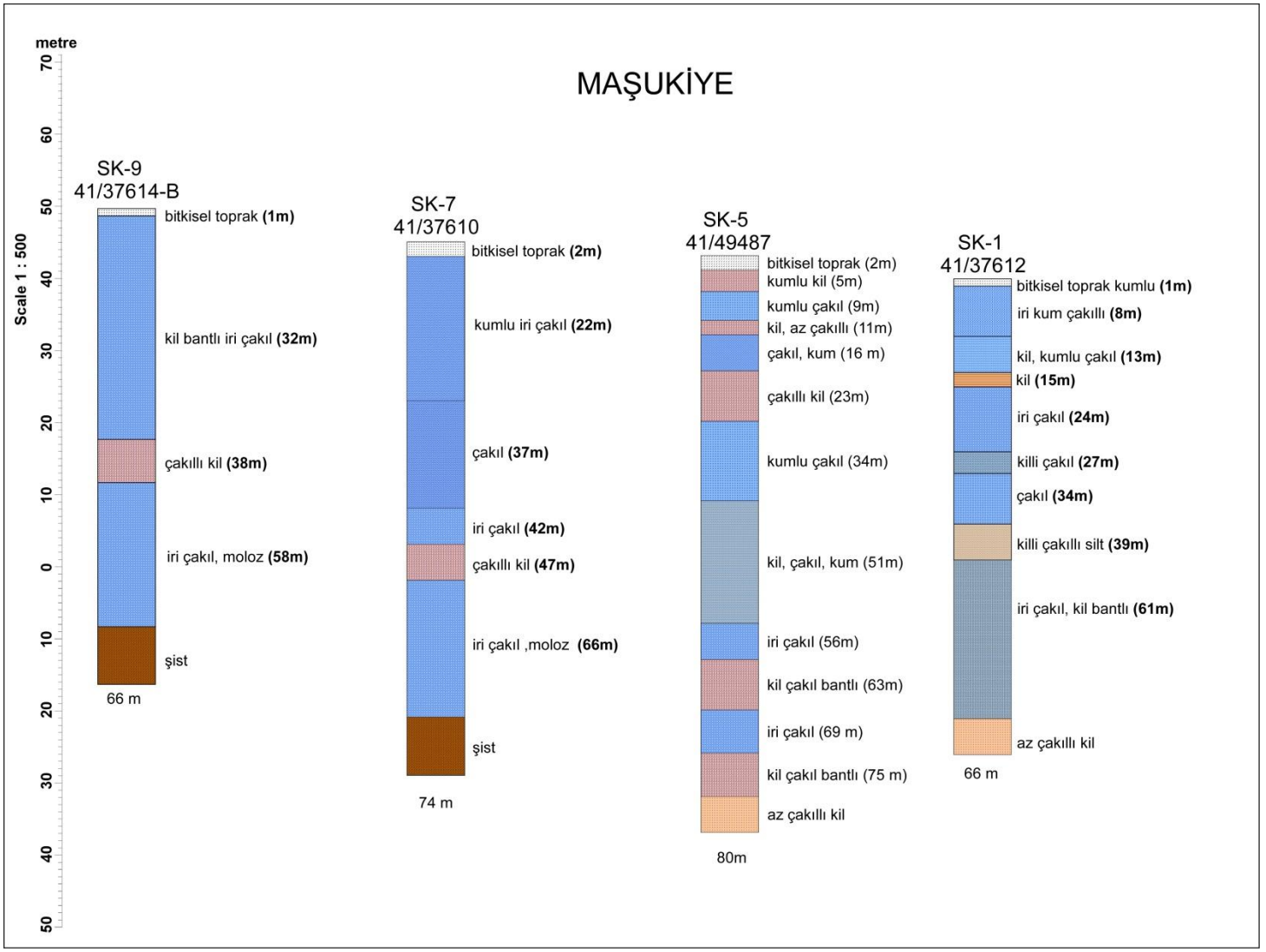
Kaynakların debilerinin yağışlı dönem sonrası artması, kurak dönemde ise azalması veya kuruması, yüzey sistemleri ile akiferin doğrudan bağlantılı olduğunu işaret etmektedir. Buda, bu tür sistemlerdeki beslenimin oldukça hızlı gerçekleştiğini göstermektedir. Karstik kaynakların çoğu akarsu sistemlerini ayrıca beslemektedir.

3.5.2. Alüvyal akifer sistemi

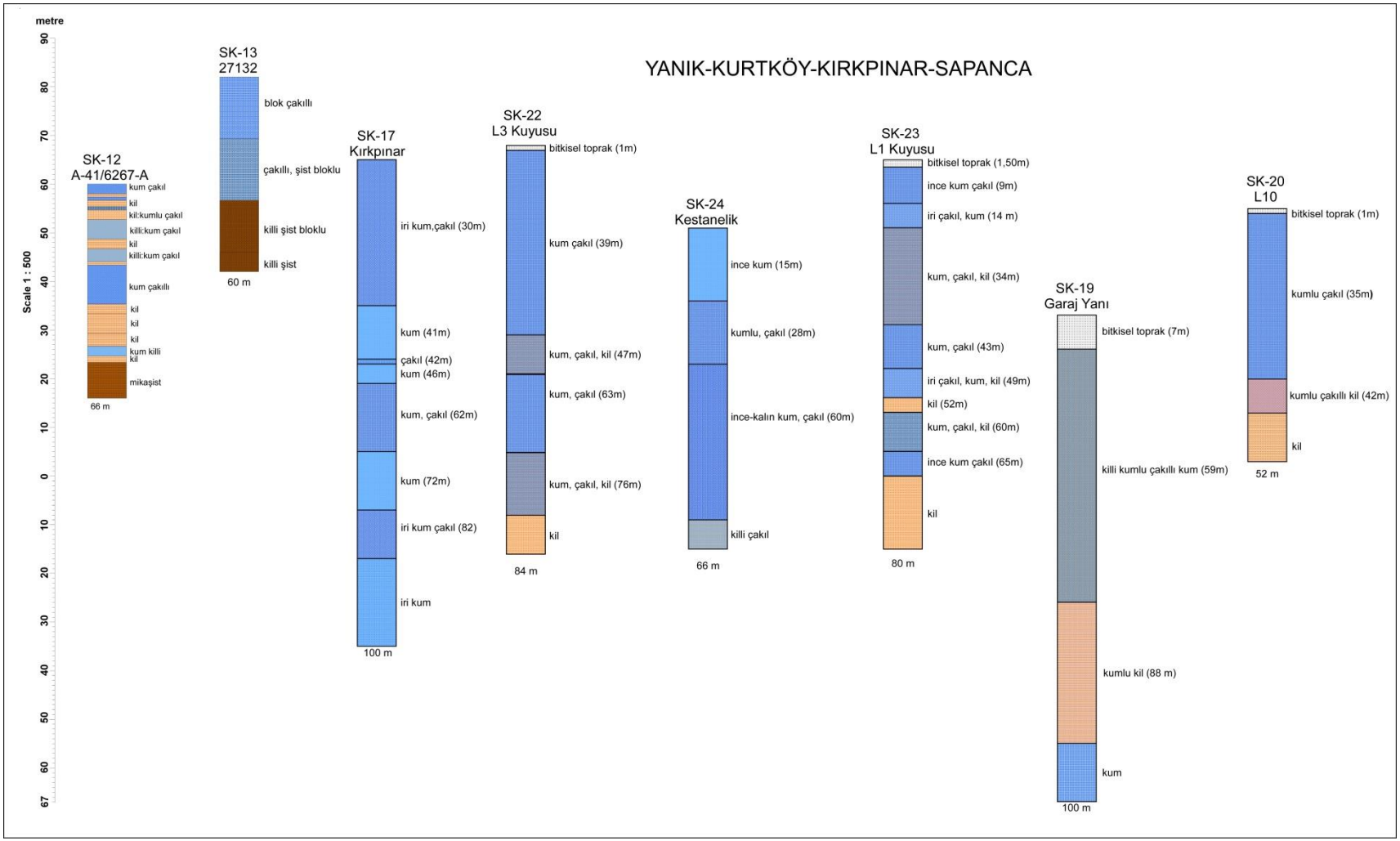
Sapanca Havzası'nın ikinci önemli akifer sistemi, ovada çoğunlukla havzanın güneyinde, kısmen de kuzeyinde yayılım gösteren Kuvaterner yaşlı alüvyon ve

alüvyal yelpaze içinde gelişmiş akiferleridir (Şekil 3.19, Ek-3). Bu akifer sisteminin yayılımı Sapanca Göl Havzası'nın batısına doğru devam etmektedir. Maşukiye ve Sapanca arasında kalan birim kalınlıkları çok fazla değişmemektedir (Şekil 3.26, Şekil 3.27). Çakıllı, kumlu ve killi birimler hemen hemen aynı seviyelerde devam etmektedir. Taban kayaya inilen derinlikler de çok farklı değildir Sadece alüvyal akiferin yüksek kotlarında açılan kuyularda (SK-12) taban kayaya düşük derinliklerde ulaşılmıştır (Şekil, 3.27).

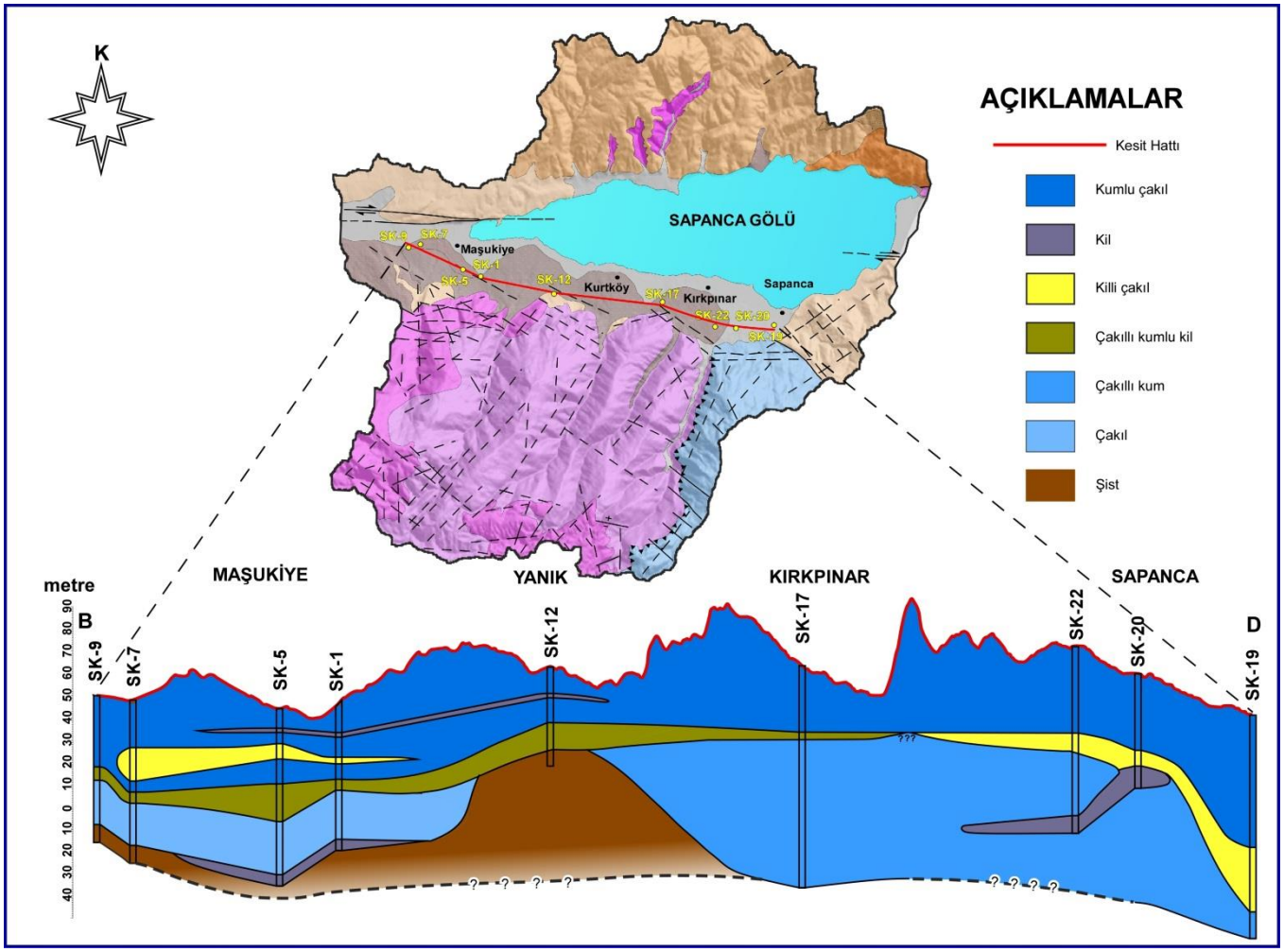
Sapanca Ovası doğu-batı hattı hattı üzerinde, alüvyal akifer sistemi içinde açılan kuyular için korelasyon yapılmıştır. Kuvaterner yaşlı alüvyon biriminin kalınlığı ortalama 60 m, alüvyal yelpazenin kalınlığı ise 60 ile 100 m arasında değişmektedir Alüvyal akiferin tabanını metamorfik kayalar oluşturmaktadır (Şekil 3.28).



Şekil 3.26. Sapanca Ovası Maşukiye bölgesindeki alüvyal akifer içinde açılan kuyuların logları



Şekil 3.27. Sapanca Ovası Yanık-Kurtköy-Kırkpınar ve Sapnaca hattı boyunca alüvyal akiferde açılan kuyuların logları



Şekil 3.28. Sapanca Ovası üzerinde doğu-batı doğrultulu hat boyunca alüvyal akifer içinde açılmış sondajlara ait log korelasyonu

Alüvyal yelpaze genellikle çakıl, kum ve kilden oluşmaktadır. İyi akifer özelliği gösteren çakıllı, kumlu birimler ovada daha çok 10-60 m arasındaki derinliklerde bulunmaktadır. Alüvyon birimlerde ise yer yer var olan kil mercekleri ise genellikle Maşukiye bölgesinde göle yakın olan bölgelerde gözlenmiştir (Şekil 3.28). Sapanca Ova hattı üzerinde Kırkpınar ve Sapanca bölgesindeki birimler geçirimliliği yüksek çakıllı ve kumlu birimlerden oluşmaktadır.

Gölün güneyindeki alüvyon ve alüvyal yelpaze üzerinde doğu-batı doğrultusu üzerinde Maşukiye-Sapanca hattı boyunca açılmış birçok sondaj kuyusu bulunmaktadır (Şekil 3.19). Bu kuyuların bir bölümü şahıslar tarafından sulama veya kullanma amacıyla açılmış, keson veya çakma diye tabir edilen derinlikleri 3-20 m arasında değişen sığ kuyulardır. Ayrıca bölgede yeraltı suyu araştırmaları yapmak üzere gözlem kuyusu olarak açılmış, bölgedeki yerleşim yerlerinin içme suyu temini ve sanayiye olan su ihtiyacını karşılamak amacıyla çeşitli tarihlerde, kurumlar tarafından açılmış derinlikleri değişken birçok sondaj kuyusu da mevcuttur. Çalışma sırasında karşılaşılan en büyük zorluk kuyuların çoğunun eski olması ve kayıtların bir kısmının kayıp bir kısmının ise güncelliğini yitirmiş olmasıdır. Bölgede birçok özel firma tarafından yapılan sondaj çalışmaları için ise detaylı ve sağlıklı kuyu kütüğü ve pompaj testi verileri mevcut değildir. Ayrıca çoğu kuyu başının demir döküm olması sebebiyle statik ve dinamik su seviyesi ölçmek için gerekli olan yerinin olmaması aylık ve mevsimsel değişimi izlemede sorun yaratmıştır.

Sapanca Ovasında açılan kuyuların pompaj verileri bulunmamaktadır. Bu nedenle alüvyon için akifer parametreleri hesaplanamamıştır. Sapanca Ovası içinde sadece 2 kuyuya ait pompaj verisi mevcuttur. Bu kuyular Sapanca'da açılmış olan SK-22 ve SK-23 kuyularıdır. Bu kuyular SASKİ tarafından su temin amaçlı açılmış kuyulardır. Bu kuyulara ait Transmissibilite (T-m^2/s), Depolama Katsayısı (S) ve Özgül Debi değerleri SASKİ'den alınan kuyu kütük bilgilerinden elde edilmiştir (Tablo 3.8).

Tablo 3.8. Sapanca Ovası alüvyal akiferin hidrojeolojik parametreleri

Kuyu No	**Mevki**	**T (m^2/s)**	**Depolama Katsayısı (S)**	**Özgül Debi (lt/sn*m)**
SK-22	Sapanca	4,95E-04	0,1	10,94
SK-23	Sapanca	4,86E-04	0,2	21,42

Çalışma kapsamında ovada bulunan ruhsata kayıtlı toplam 24 sondaj kuyusu incelenmiştir (Tablo 3.9). Bu kuyular Maşukiye, Yanık, Kurtköy, Kırkpınar ve Sapanca bölgelerinde yer alan, Devlet Su İşleri (DSİ), Adapazarı İl Özel İdaresi, Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi (SASKİ), İzmit Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSU), bölge belediyeleri ve özel firmalar tarafından açılmış kuyulardır. İncelenen kuyuların 11'i Kocaeli il sınırları içinde, 13'ü ise Sakarya il sınırları içinde bulunmaktadır. Maşukiye deki SK-5 numaralı kuyu DSİ tarafından gözlem kuyusu olarak açılmıştır. Sapanca bölgesinde, SASKİ'ye ait toplam 10 adet sondaj kuyusu özellikle yaz aylarında bölgenin içme suyu ihtiyacını karşılamak üzere kullanılmaktadır. Maşukiye'de DSİ tarafından açılmış 5 adet sondaj kuyusu, ilçedeki Tarım Kredi Kooperatifi tarafından sulama amacıyla kullanılmaktadır. Kurtköy'de İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi içinde bulunan 2 adet sondaj kuyusu balık üretim havuzları için takviye kaynak olarak kullanılmaktadır. Kurtköy'de futbol sahası içinde tesisin su ihtiyacını karşılamak amacıyla belediye tarafından açılmış 1 adet sondaj kuyusu bulunmaktadır (Tablo 3.9).

Kuyuların açıldığı zemin kotları 31-82 m arasında değişmektedir. Kuyuların derinlikleri ise 40-100 m arasında değişmektedir (Tablo 3.9).). Maşukiye'deki Cansu ve Yayla alabalık tesisleri içindeki SK-2 ve SK-4 ile Tarım Kredi Kooperatifi'ne ait SK-5, şahıs arsası içindeki SK-8, CocaCola firmasının arazisi içindeki SK-10, Göksu Sitesi içindeki SK-11 ve Kurtköy'de ki futbol sahası içinde bulunan SK-14 numaralı kuyular artezyen yapmaktadır (Şekil 3.26, Şekil 3.27, Şekil 3.29). Bu kuyular alüvyal yelpaze ile alüvyon sınırına çok yakın bölgelerde açılmıştır (Şekil 3.19, Ek-4). Bu kuyuların derinlikleri 40-80 m arasında değişmektedir Artezyen yapan kuyuların su seviyeleri +0,35 ile +1,65 m arasında, debi değerleri ise 1-5 lt/s arasında değişmektedir (Tablo 3.9, Tablo 3.10).

Artezyen kuyulardan SK-2 ve SK-8'in debileri yaz-kış aynı kalırken, diğer kuyuların debileri kurak dönemde azalmaktadır. Bölgedeki diğer kuyuların verimleri ise 5-50 lt/s arasında değişmektedir (Tablo 3.9).

Tablo 3.9. İncelenen kuyuların koordinat, kot, derinlik, debi ve kurum bilgileri

Kuyu No	Lokasyon	Kuyu Adı	X	Y	Kot (m)	Derinlik (m)	Debi (lt/s)	Kurum
SK-1	Maşukiye	37612	259376	4509373	40	66	43,22	DSİ
SK-2	Maşukiye	Cansu alabalık	259643	4509962	35	40	-	Özel
SK-3	Maşukiye	Ziya bey	259714	4509267	58	55	-	Özel
SK-4	Maşukiye	Yayla alabalık	259561	4509760	30	60	-	Özel
SK-5	Maşukiye	37611	258750	4509613	43	80	38,3	DSİ
SK-6	Maşukiye	Terminal (gözlem kuyusu)	258182	4510077	54	-	-	DSİ
SK-7	Maşukiye	37610	257252	4510504	45	74	51,1	DSİ
SK-8	Maşukiye	Özel bahçe	257277	4510623	32	70	-	Özel
SK-9	Maşukiye	37614	256835	4510393	50	64	11,54	DSİ
SK-10	Maşukiye	Coca Cola	257579	4510685	45	-	-	Özel
SK-11	Maşukiye	Göksu sitesi	258003	4510873	31	60	-	Özel
SK-12	Yanık	Muhtarlık	261954	4508734	60	100	4,9	Muhtarlık
SK-13	Kurtköy	27132-İ.Ü.	263831	4507959	82	60	27,12	DSİ
SK-14	Kurtköy	Belediye sondajı	262887	4509244	37	70	-	Belediye
SK-15	Kırkpınar	Belediye yanı	265200	4508415	60	-	-	SASKİ
SK-16	Kırkpınar	Belediye arkası	265690	4508794	48	89	-	SASKİ
SK-17	Kırkpınar	Manors sitesi	264498	4508409	65	98	-	SASKİ
SK-18	Sapanca	Atilla 2 yeni	269647	4507714	60	80	-	SASKİ
SK-19	Sapanca	L5 Atilla 1	269702	4507659	33	58	22	SASKİ
SK-20	Sapanca	L10	268363	4507547	55	52	35	SASKİ
SK-21	Sapanca	L2	268138	4507626	60	84	-	SASKİ
SK-22	Sapanca	L3	267628	4507601	68	-	35	SASKİ
SK-23	Sapanca	L1	268168	4507903	65	80	48	SASKİ
SK-24	Sapanca	Kestanelik	268184	4507624	51	66	-	SASKİ

Artezyan kuyular hariç alüvyal akiferdeki kuyulara ait statik su seviye değerleri Maşukiye bölgesinde ortalama -0,3 m ile -13,07 m arasında, Kırkpınar-Kurtköy bölgesinde -0,9 m ile -23,40 m arasında, Sapanca bölgesinde ise -1,2 m ile -22 m arasında değişmektedir (Tablo 3.10). Yağışlı ve kurak dönem arasındaki statik su seviye farkını ise en iyi gösteren ölçümü içeren Nisan ve Eylül ayları verileri değerlendirildiğinde; Maşukiye ve Sapanca bölgesindeki kuyuların yağışlı ve kurak dönem arasındaki statik su seviye değişimi ortalama 1-5 m arasında değişmektedir.

Sapanca-Kırkpınar ve Kurtköy bölgesinde ise kurak dönemde (Ağustos-Ekim) kuyuların aktif olarak çalışması sebebiyle özellikle yaz aylarında kuyu seviyelerinde 2-20 m arasında değişen düşümler meydana gelmektedir**.**

Bu kuyular özellikle Sapanca bölgesinde yer alan SK-19, SK-23 ve SK-24 kuyularıdır (Tablo 3.10).

Mayıs 2009 ve 2010 yılları arasında kuyularda ölçülen statik su seviye değerleri (Tablo 3.10) kullanılarak alüvyal akiferin yeraltı su seviye haritası oluşturulmuştur.

Alüvyal akifer içinde yeraltı suyunun hareket yönü genelde göle doğrudur (Şekil 3.19). Bazı bölgelerde alüvyal akifer dereleri beslemektedir. Dönemsel olarak derelerde alüvyal akiferi beslemektedir. Alüvyal akifer ovada genelde basınçlı ve yarı basınçlı akifer özelliği göstermekte olup, yer yer de artezyen karakter sergilemektedir (Şekil 3.29). Dereler ve dağ önü beslenim alüvyon akiferlerin ana beslenim mekanizmalarını oluşturmaktadır.



Şekil 3.29. Alüvyal akiferde artezyen yapan kuyulara örnek. a) Maşukiye-CocaCola kuyusu (SK-10), b) Kurtköy-Futbol sahası kuyusu (SK-14)

Su seviye haritaları oluşturulurken Maşukiye, Kırpınar ve Sapanca bölgesindeki veriler ayrı olarak değerlendirilmiştir (Şekil 3.19). Oluşturulan eş seviye eğrilerinin sıklık oranları farklı hidrojeolojik ortamları veya geçirimlilik özelliklerini yansıtır. Buna göre çalışma alanında ki hidrolik eğim değerleri 1×10^{-1} ile 6×10^{-3} arasında değişmektedir. Ovadaki en düşük hidrolik eğim değeri eş seviye eğrilerinin sıklaştığı Maşukiye bölgesinde 0,006 olarak belirlenmiştir. Bu bölgedeki alüvyonların kil oranlarının fazla olması ortamın permeabilitesini düşürmektedir.

Bundan dolayı Maşukiye ve civarındeaki kuyuların çoğu artezyen karakter sergilemektedir. Sapanca bölgesindeki hidrolik eğim 18×10^{-3}, Kırkpınar bölgesindeki hidrolik eğim ise 1×10^{-1}'dir.

Sapanca Ovası'ndaki en yüksek hidrolik eğim Kırkpınar bölgesindedir. Bu bölgedeki birimler daha çok çakıllı ve kumlu birimlerden oluşmaktadır, dolayısıyla en yüksek geçirimlilik bu bölgededir.

Sapanca Havzası'nın kuzey kesiminde hidrojeolojik açıdan geçirimsiz nitelikteki Eosen yaşlı ardalanmalı kiltaşı, kumtaşı, silttaşı, şeyl vb. birimler yer almaktadır (Şekil 3.19). Alt-Orta Eosen yaşlı bu birimler drenaj alanı içinde fliş özelliği göstermektedir. Dolayısıyla, gölün kuzey kesimi doğu-batı doğrultusu boyunca göl yeraltı suyu beslenimi açısından geçirimsiz bir hidrolik sınır oluşturmaktadır (Şekil 3.19). Gölün doğu ve batı sınırları ise bataklık fasiyesinde olup, yeraltı suyu hareketi sınırlıdır. Gölün doğu kısmının (Arifiye ve civarı) yüzeyden itibaren 60 m'lik kısmı bataklık ürünü olan killi, siltli ve milli birimlerden oluşmaktadır (Şekil 3.19, Ek - 4).

Yağıştan ve yüzeysel akıştan beslenen bu birimlerde açılan kuyuların verimi ve su kalitesi oldukça düşük olup civardaki çiçek üretimi yapan seralar tarafından sulama amaçlı kullanılmaktadır (Şekil 3.30).



Şekil 3.30. Sapanca Gölü'nün doğusu, Arifiye'de ki çiçekçiler tarafından sulama amaçlı açılan kuyulardan görünüm

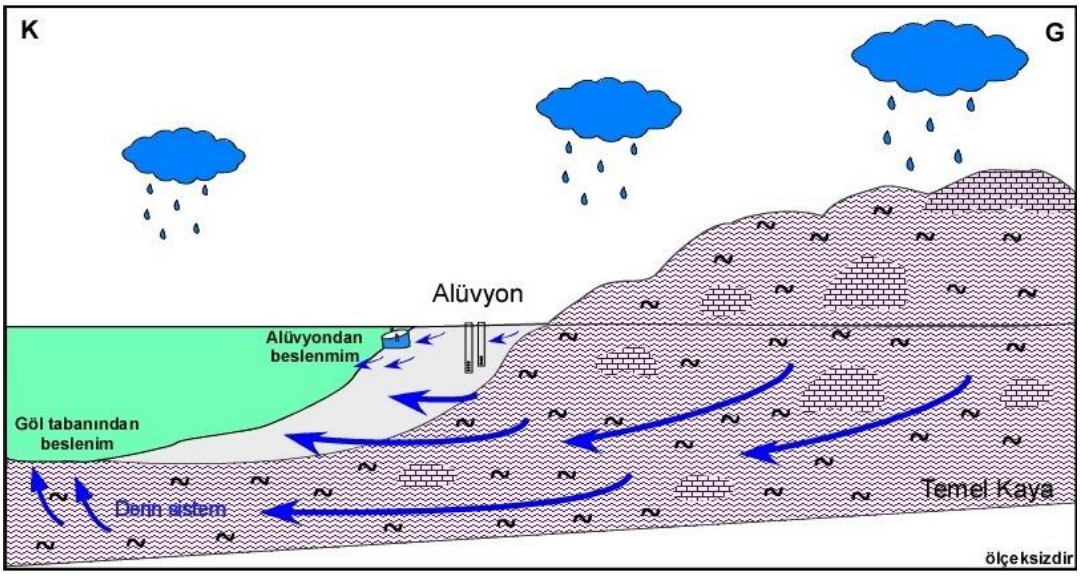
Tablo 3.10. Sapanca Ovası'nda incelenen kuyulara ait statik ve dinamik su seviye (m) ölçüm değerleri (Mayıs, 2009-2010)

Kuyu No	KUYU ADI	X	Y	Kot (m)	Mayıs (2009)	Temmuz (2009)	Ağustos (2009)	Eylül (2009)	Ekim (2009)	Aralık (2009)	Şubat (2010)	Mart (2010)	Nisan (2010)	Mayıs (2010)
SK-1	Maşukiye 37612	259376	4509373	40	-4,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SK-2	Maşukiye -Cansu	259643	4509962	35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
SK-3	Maşukiye -Ziya	259714	4509267	45	-10,25	-11,40	-11,77	-13,07	-12,17	-10,54	-9,12	-10,34	-8,77	-10,00
SK-4	Maşukiye -Yayla	259561	4509760	30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
SK-5	Maşukiye 37611	258750	4509613	43	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
SK-6	Maşukiye-terminal	258182	4510077	40	-4,03	-5,38	-5,96	-6,33	-6,20	-5,83	-3,60	-3,85	-4,05	-4,72
SK-7	Maşukiye 37610	257252	4510504	45	-1,79	-1,88	-2,50	-2,83	-2,75	-2,15	-0,45	-0,30	-0,47	-1,28
SK-8	Maşukiye-Ozel Bahce	257277	4510623	32	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
SK-9	Maşukiye 37614	256835	4510393	50	-4,05	-5,40	-6,50	-6,30	-6,14	-5,70	-	-3,72	-4,12	-
SK-10	Maşukiye -Coca Cola	257579	4510685	43	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
SK-11	Maşukiye-Goksu	258003	4510873	31	0,56	0,56	0,56	0,60	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
SK-13	Kurtköy 27132	263831	4507959	82	-22,44	-21,08	-20,60	-20,05	-20,20	-22,80	-23,40	-22,60	-22,96	-22,38
SK-14	Kurtköy Bel. Sndj	262887	4509244	37	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
SK-15	Kırkpınar-Belediye yanı	265200	4508415	55	-2,20	-	-5,37	-4,66	-5,95	-2,84	-2,60*	-1,65	-	-2,27
SK-16	Kırkpınar -Belediye arkası	265690	4508794	48	-	-	-	-3,54	-3,81	-	-	-0,96	-0,52	-1,18
SK-17	Kırkpınar-Manors	264498	4508409	65	-	-	-	-22,48	-23,13	-20,17	-18,55	-18,85	-19,13	-19,75
SK-18	Sapanca-Atilla 2	269647	4507714	68	-	-	-	-7,57	-7,25	-3,55	-	-1,18	-	-
SK-19	Sapanca **L5**	269702	4507659	70	-2,35	-6,64	-24,10*	-23,40*	-18,58*	-	-2,31	-2,35	-2,60	-
SK-20	Sapanca **L10**	268363	4507547	55	-17,55	-22,55*	-	-	-	-	-	-	-	-
SK-22	Sapanca **L3**	267628	4507601	68	-20,20	-23,24	-	-	-	-	-	-	-	-
SK-23	Sapanca **L1**	268168	4507903	65	-15,03	-	-21,42*	-22,42*	-23,00*	-18,58	-15,18	-19,90*	-	-21,82*
SK-24	Sapanca-Kestanelik	268184	4507624	58	-	-	-	-22,03	-20,48	-18,31	-14,55	-14,05	-14,51	-18,05*

***** Dinamik seviye

3.5.3. Alüvyal akifer ve göl arasındaki hidrolik ilişki

Sapanca Gölü'nü yeraltından besleyen 2 temel sistem bulunmaktadır. Bu sistemler, özellikle gölün güney kesiminde bulunan, gölü kırık hatları ve karstik boşalımlar ile besleyen derin sistem ile alüvyon akiferden göle olan beslenimdir (Şekil 3.31).



Şekil 3.31. Sapanca Gölü'nü yeraltından besleyen sistemleri gösterir basitleştirilmiş şema

Gölü derinden besleyen boşalımların varlığı gölün derinliklerine dalış yapan dalgıçlar tarafından da gözlenmiştir. Alüvyondan göle olan boşalım ise bu çalışma kapsamında gözlemsel ve deneysel çalışmalarla belirlenmiştir.

Sapanca Gölü'ne derin sistemlerden boşalan yeraltı suyu miktarını doğrudan ölçmek mümkün değildir. Gölü besleyen yeraltı su miktarı göl su bütçesi hesabı ile yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Alüvyondan gerçekleşen beslenimin, toplam beslenim içindeki oranını belirlemek ve Sapanca Gölü ile alüvyon akiferi arasındaki beslenim-boşalım ilişkisinin ortaya konması amacıyla gölün tabanına seepage (sızıntı) metreler yerleştirilmiştir.

Seepage metreler ile göl tabanından yapılan sızıntı ölçümleri Şubat-Haziran 2014 ve 2015 yılları içinde her hafta periyodik olarak yapılmıştır. 2014 yılı ve 2015 yılında seepage metrelerin yerleştirildiği 4 bölge için alınan yeraltı suyu sızıntı miktarları birbirine paralellik göstermiş ve günlük ölçümlerin ortalaması 20 ml (2014) ve 60 ml (2015) olarak belirlenmiştir (Tablo 3.11).

Tablo 3.11. Seepage (sızıntı) metrelerin lokasyon, koordinat ve günlük ortalama sızıntı miktarları

Seepage No	Lokayon	X	Y	Sızıntı miktarı ortalaması (ml/gün) 2014/2015*
1 seepage	İst-Mahm. Dere	268826	4509021	22
2 seepage	Keçi-İst. Dere	269572	4508368	20
3 seepage	Keçi-Sarp Dere	269932	4508274	18/60*
4 seepage	Keçi-Sarp Dere	270150	4508289	20/60*

2014 ve 2015 yılları için arazide yapılan seepage metre ölçümlerinden elde edilen veriler ile alüvyondan göle doğru gerçekleşen boşalım miktarını hesaplamak için gölün güneyindeki kıyı birim kesit alanından, birim zamanda gerçekleşen yeraltı suyu akış miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplama için kesit alanı belirlenirken yaklaşık 17 km uzunluğundaki güney kıyı kesimi ve kıyıdan derinliği 5 m'yi geçmeyen ortalama 100 m'lik kıyı düzlüğü belirlenmiştir (A= ~1,7 km^2).

2014 yılı içinde yapılan ölçümler kuraklık sebebiyle minimum, 2015 yılındaki değerleri ise maksimum değerleri verecektir. Yapılan hesaplamalarda 2014 yılında belirlenen kesit hattı boyunca alüvyondan göle olan boşalım (sızıntı) miktarı 46×10^3 m^3 olarak hesaplanmıştır (Tablo 3.12). 2015 yılı için ise bu değer 138×10^3 m^3/yıl olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.12. Alüvyon akifer sisteminden göle olan yıllık toplam boşalım miktarı ve sızıntı akısı

Göl tabanından alınan ortalama örnek hacmi (ml/gün)	Sızıntı miktarı (litre/gün/m^2)	Göl kesit alanından boşalan hacim (m^3/yıl/km^2)	Toplam sızıntı akısı (m^3/s/m^2)
20	0,074	46.014	$1,46\times10^{-3}$
60	0,222	138.420	$4,38\times10^{-3}$

Sapanca Gölü'nün 2008-2009 verileri ile hesaplanan yeraltı suyu beslenimi yaklaşık 96 milyon m^3'tür. Gölde gerçekleştirilen Seepage metre çalışmaları ile alüvyondan göle olan boşalımın gölün genel yeraltı suyu beslenimi içindeki oranının belirlenmesi amaçlanmıştır. 2014-2015 yıllarında yapılan çalışma ile alüvyon akiferden göle olan boşalım miktarı kurak ve yağışlı dönem için sırasıyla 46.000 m^3/yıl ve 138.000

m^3/yıl olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler belirlenen kesit alanı için ortalama değerleri yansıtmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma ile göl tabanındaki kırık hatları ve karstik boşalımlar ile göl dibinden olan beslenimin Sapanca Gölü için ana beslenim mekanizmasını oluşturduğu alüvyondan meydana gelen boşalımların ise düşük düzeylerde kaldığı ortaya konmuştur.

3.6. Hidrojeokimya

Bu bölümde, Sapanca Havzası'nın güney kesimindeki karstik ve alüvyal akiferi temsil eden doğal kaynak boşalımları ve kuyulardan alınan yeraltı suyu örnekleri, fiziksel, kimyasal, izotop jeokimyası ve su kalitesi açısından ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yeraltı sularının kalitesini belirlemek amacıyla kaynaklardan 4 dönem (Mayıs-Eylül 2009, Nisan 2010, Temmuz 2014), kuyulardan ise 5 dönem (Mayıs-Eylül 2009, Şubat-Nisan-Haziran 2010) örnekleme yapılmıştır. Alüvyal akiferde açılmış olan kuyulardaki yeraltı suyu örnekleri üzerinde 11 ay boyunca düzenli fiziksel parametre (pH, EC, T, ÇO) ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca gölün güneyindeki akifer sistemlerinin birbirleriyle ve göl ile olan ilişkisinin bir bütün olarak ortaya konması amacıyla göl ve göl taban (gözenek) suyundan (Mart-Mayıs 2014) alınan gözenek suyu örnekleri hidrojeokimyasal açıdan değerlendirilerek yorumlanmıştır. Çalışmada örnekleme yapılan tüm lokasyonları gösterir uydu görüntüsü Ek-1'de sunulmuştur.

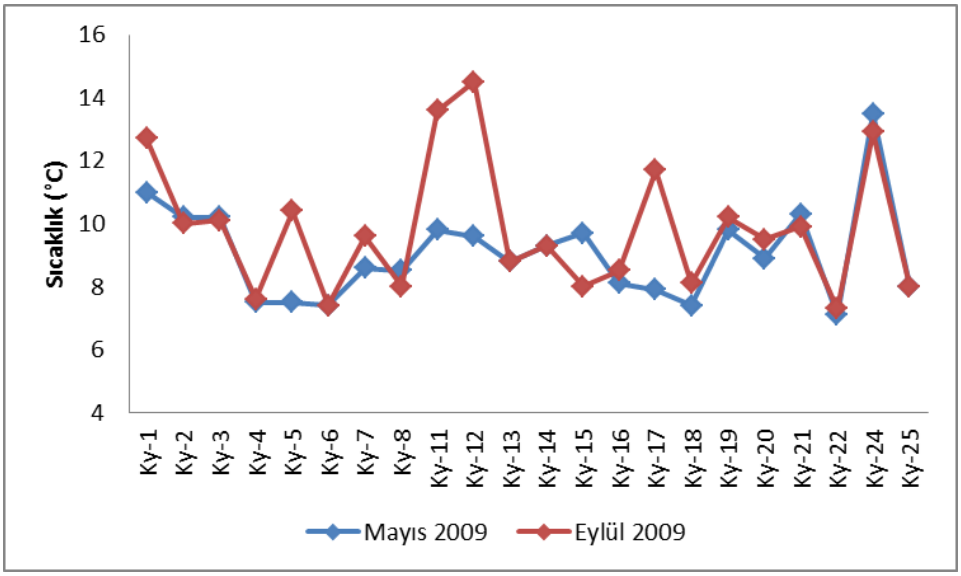
Akifer sistemlerinin mineralojisindeki farklılığın yeraltı sularının kimyasına olası etkilerini belirlemek amacıyla akifer sistemleri ve göl, fiziksel ve kimyasal açıdan ayrı olarak değerlendirilmiştir.

3.6.1. Karstik akifer hidrojeokimyası

Sapanca Havzası'nın güneyinde incelenen kaynaklar metamorfik kayaçlar topluluğu içindeki mermerler ve rekristalize kireçtaşı içinde gelişmiş karst akifer sisteminde yer almaktadır. Yeraltı sularının genel kimyasal analizlerinin istatistiksel sonuçları Tablo 3.13'de sunulmuştur. Kaynak sularının detaylı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Ek-5'de verilmiştir.

Karst akifer sistemine ait yeraltı sularının fiziksel ve kimyasal (pH, EC, TDS, alkalinite) parametrelerinin grafiksel gösterimi yapılırken dönemsel değişimlerin daha net ortaya konması amacıyla yağışlı ve kurak dönemi temsil eden Mayıs (2009) ve Eylül (2009) aylarının verileri kullanılmıştır.

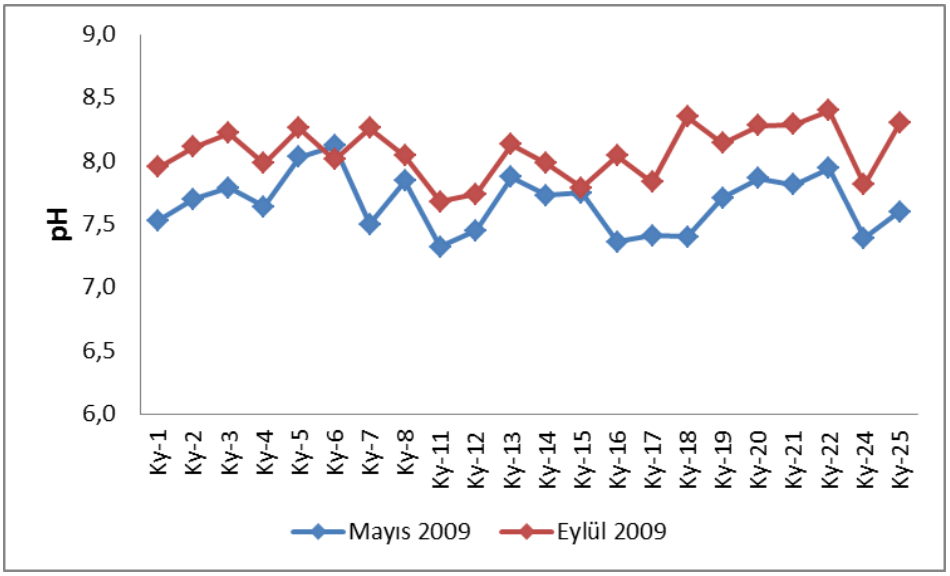
Sapanca Havzası karst akifer sistemindeki yeraltı sularının sıcaklığı 7,1-14,5 ºC arasında değişirken ortalama sıcaklık değerleri yağışlı (Mayıs 2009) ve kurak (Eylül 2009) dönem için sırasıyla 9,1±1,5ºC ile 9,8±1,8ºC'dir (Tablo 3.13). Sıcaklık değerleri açısından karstik kaynaklar dönemsel olarak büyük bir farklılık göstermemektedir. Sadece Kurtköy Dere vadisi içinde düşük kotlardan (~200 m) boşalan Kurtköydere Kaynağı (Ky-11) ile İncirlikaya Kaynağı'nın (Ky-12) kurak (Eylül 2009) dönemde sıcaklık değerlerinde artış gözlenmektedir. Muhtemelen bu durum kaynaklara dere yatağından olan karışımı işaret etmektedir (Şekil 3.32).



Şekil 3.32. Sapanca Havzası karstik kaynakların dönemsel sıcaklık değişimi

Karstik kaynakların pH değerleri 7,2-8,4 arasında değişmektedir (Şekil 3.33, Tablo 3.13). Ölçülen pH değerleri karstik sistemlerin tipik özelliğini yansıtacak şekilde alkali bir karakter sergilemektedir.

Havzadaki Osman Efendi (Ky-6) ve Şahin Kaya (Ky-15) kaynakları dışındaki tüm karstik kaynakların pH değerinde kurak dönemde bir artış (% 3) gözlenmektedir (Şekil 3.33).

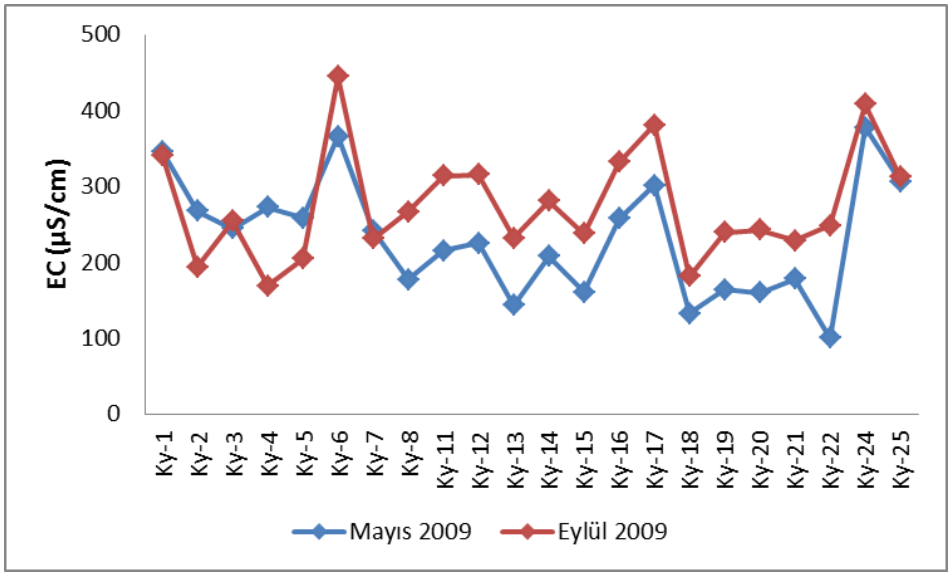


Şekil 3.33. Sapanca Havzası karstik kaynakların dönemsel pH değişimi

Sularda ölçülen elektriksel iletkenlik değeri suyun içinde bulunan çözünmüş madde miktarı ile doğru orantılıdır. İnceleme alanındaki karstik kaynakların elektriksel iletkenlik (EC) değerleri 100-444 µS/cm arasında değişmektedir. 2009 yılı için yağışlı ve kurak dönem ortalama EC değerleri sırasıyla 232±77 µS/cm ve 275±73 µS/cm'dir (Tablo 3.13). İncelenen kaynaklar içinde en yüksek EC değeri Maşukiye'de ki Osman Efendi Kaynağı (Ky-6, 444 µS/cm) ile Sapanca'da ki en düşük kottan (172 m) boşalan Yedigözler Kaynağı (Ky-24, 408 µS/cm)'dır. En düşük EC değeri ise Sapanca'da ki en yüksek kottan (1096 m) boşalım gösteren Doksanbeş Kaynağı (Ky-22, 100 µS/cm)'dır. Kurak dönem EC değerlerinde, yağışlı dönem EC değerlerine göre ortalama %10 oranında bir artış gözlenmektedir (Şekil 3.34).

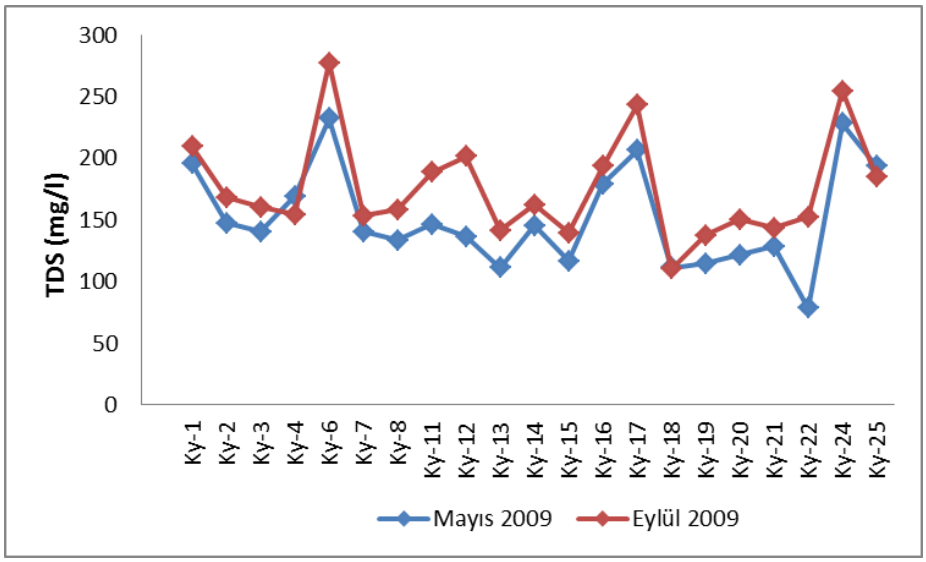
Tablo 3.13. Sapanca Havzası karst akifer sistemindeki yeraltı sularının başlıca fiziksel ve kimyasal parametrelerinin istatistik özelliklerinin dönemsel değişimi

Dönem		pH	Sıcaklık	Elektriksel İletkenlik (EC)	Elektriksel İletkenlik (EC)-25°C	Toplam Çözünmüş Madde (TDS)	Toplam Sertlik ($CaCO_3$)	Alkalinite ($CaCO_3$)	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	SO_4^{-2}	HCO_3^{-}	NO_3^{-2}	NO_2^{-}
			T °C	µS/cm	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	minimum	7,3	7,1	100,0	152,0	78,0	55,6	68,6	20,5	0,9	0,9	0,2	1,6	1,5	68,0	0,2	<0,1
n=22	maksimum	8,1	13,5	377,0	551,0	232,0	161,9	174,4	63,4	8,1	5,5	0,8	43,5	28,6	173,0	4,6	<0,1
Mayıs 2009	ortalama	7,7	9,1	231,8	330,2	150,9	105,7	118,6	37,3	3,1	2,2	0,4	5,0	7,6	117,6	2,0	<0,1
(Yağışlı Dönem)	standart sapma	0,2	1,5	76,7	109,7	41,1	24,3	29,7	10,0	2,1	1,4	0,2	9,3	6,9	29,5	1,0	<0,1
	CV (%)	3,0	16,7	33,1	33,2	27,2	23,0	25,1	26,9	68,1	66,4	45,5	184,6	90,8	25,1	50,2	<0,1
	minimum	7,7	7,3	168,8	252,8	110,0	70,1	91,0	24,0	1,7	0,8	0,2	1,2	1,2	90,3	0,2	<0,1
n=22	maksimum	8,4	14,5	444,0	668,8	277,0	226,2	195,0	60,7	28,8	89,4	9,7	56,9	35,3	193,4	4,4	<0,1
Eylül 2009	ortalama	8,1	9,8	275,2	386,9	173,0	139,4	130,9	39,5	9,9	9,7	2,1	4,7	9,6	129,8	2,1	<0,1
(Kurak Dönem)	standart sapma	0,2	2,1	73,1	99,7	42,4	41,7	28,7	9,5	7,5	18,3	2,6	11,8	9,6	28,5	1,2	<0,1
	CV (%)	2,6	21,2	26,6	25,8	24,5	30,0	21,9	24,1	75,8	187,6	122,3	250,0	100,3	21,9	54,7	<0,1
	minimum	7,2	6,4	161,9	251,1	99,0	63,8	76,8	23,3	0,9	1,4	0,4	1,1	1,5	76,2	0,2	<0,1
n=22	maksimum	8,2	12,5	398,0	560,0	248,0	155,4	181,7	50,0	9,3	27,4	1,4	46,2	31,5	180,2	4,3	<0,1
Nisan 2010	ortalama	7,7	8,7	267,0	386,8	165,4	100,7	119,6	34,5	3,5	4,1	0,6	5,1	7,8	118,6	1,8	<0,1
(Yağışlı Dönem)	standart sapma	0,3	1,5	63,0	85,3	39,0	22,7	29,0	7,3	2,6	5,6	0,2	9,9	7,6	28,8	1,0	<0,1
	CV (%)	3,6	17,6	23,6	22,0	23,6	22,5	24,3	21,3	72,4	134,2	34,6	193,8	97,6	24,3	58,3	<0,1
	minimum	7,6	7,5	130,0	179,4	179,4	92,8	110,0	33,7	1,5	1,0	0,2	1,4	1,4	134,2	1,0	<0,1
n=6	maksimum	8,2	11,7	237,0	291,1	291,1	163,5	181,0	62,0	5,4	2,9	0,6	2,1	13,4	220,8	2,6	<0,1
Temmuz 2014	ortalama	7,8	9,8	183,5	219,4	219,4	119,5	132,2	42,3	3,4	1,7	0,4	1,6	7,0	161,2	1,8	<0,1
(Kurak Dönem)	standart sapma	0,2	1,8	39,8	40,8	40,8	25,2	26,4	10,5	1,7	0,7	0,1	0,2	5,7	32,3	0,6	<0,1
	CV (%)	2,8	18,9	21,7	18,6	18,6	21,1	20,0	24,8	51,3	38,2	29,5	15,1	82,2	20,0	35,0	<0,1



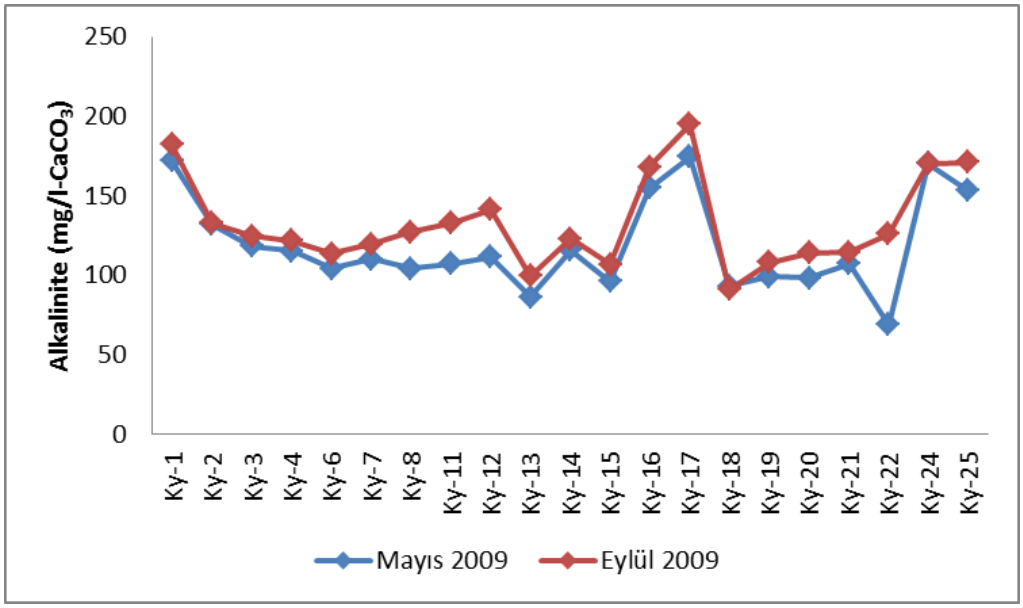
Şekil 3.34. Sapanca Havzası karstik kaynakların dönemsel EC (µS/cm) değişimi

İnceleme alanındaki kaynakların TDS değerleri 78-277 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 3.13). Yağışlı (Mayıs 2009) ve kurak (Eylül 2009) dönem TDS ortalamaları sırasıyla 151±41 mg/l ile 173±42 mg/l'dir. Kaynakların kurak dönem TDS değerleri, yağışlı dönem TDS değerlerine göre ortalama %8 oranında artış göstermektedir. İncelenen kaynaklar içindeki en yüksek TDS değeri Osmanefendi Kaynağı (Ky-6, 277 mg/l) en düşük TDS değeri ise Doksanbeş Kaynağı (Ky-22, 78mg/l)'dır (Şekil 3.35). Sonuç olarak, havzadaki kaynakların EC değerleri, TDS değerleri ile paralellik göstermektedir.



Şekil 3.35. Sapanca Havzası karstik kaynakların dönemsel TDS (mg/l) değişimi

İnceleme alanı içindeki karstik kaynakların alkalinite değerleri 69-195 mg/l $CaCO_3$ arasında değişmektedir. Yağışlı (Mayıs 2009) ve kurak (Eylül 2009) dönem alkalinite ortalamaları sırasıyla 119±30-131±29 mg/l $CaCO_3$'tır (Tablo 3.13). Kurak dönemde alkalinite değerlerinde ortalama %5 oranında bir artış gözlenmektedir. Karstik kaynaklar içinde en düşük alkalinite değeri 1096 m kotundaki Doksanbeş Kaynağı (Ky-22, 1096m)' dır. En yüksek alkalinite değerine sahip karstik kaynaklar ise Soğucak (Ky-17, 1135m), Beşpınar (Ky-16, 1096m), Hamamsu (Ky-1, 197m) ve Yedigözler (Ky-24, 172m) kaynaklarıdır (Şekil 3.36).



Şekil 3.36. Sapanca Havzası karstik kaynakların dönemsel Alkalinite (mg/l-$CaCO_3$) değişimi

Havzadaki karstik kaynaklar toplam sertlik açısından değerlendirildiğinde mevsimsel olarak farklılık göstermektedir. Yağışlı dönemde (Mayıs 2009) kaynak suları çoğunlukla orta sert su (60-120 mg/l $CaCO_3$) sınıfına girmektedir. Kurak dönemde (Eylül 2009) ise orta sert su ile çok sert su (60-220 mg/l $CaCO_3$) arasında değişkenlik göstermektedir (EK-5).

Tablo 3.13'de karstik akifer sistemi içinde yer alan kaynakların dönemsel ve kimyasal parametreler açısından değişim katsayıları (CV) verilmiştir. CV değerleri, değişim katsayısı (Coefficient of Variation, CV) olarak adlandırılmaktadır. İncelenen parametrenin standart sapmasının ortalamasına oranının yüzde ifadesi (CV=(Stdsapma/Ortalama)×100) olarak tanımlanmaktadır. Karstik sistemlerin

beslenme rejimi (allojenik ve otojenik) depolama ve dolaşım (yerel ve yaygın) koşulları hakkında bilgi edinmemizi sağlarlar. Quinlan and Ewers (1985) tarafından karstik ortamlarda yapılan çalışmada yıl içinde sistemin tepkisinin göstergesi olan varsa kaynak boşalımları ve kimyasında gözlenen değişim katsayısı değerinin %5-10 arasında olması durumunda sistemdeki akımın yerel ve yaygın akım bileşenlerinden oluştuğu belirtilmiştir. Bu değerin %5'ten küçük olması durumunda ise yaygın akımın baskın olduğu belirtilmiştir (Aydın, 2005).

White (2003)'de ise karst akiferlerinde beslenme, allojenik yerel (noktasal), otojenik yerel, otojenik yaygın ve tünek akiferlerden beslenme olmak üzere en az dört gruba ayrılmaktadır. Yerel beslenim, toplam havzası karbonatlı kayaç kütlesinde olan (otojenik) akarsuların bir düden veya dolinde sınırlanması şeklinde olabileceği gibi, karbonatlı olmayan (allojenik) bir havzaya sahip akarsuyun karbonatlı kütlede sonlanması ile de olabilir. Otojenik yaygın beslenim ise kireçtaşları üzerine düşen yağış sularının kırık-çatlak sistemleri boyunca ve dolinler içinde biriken topraktan süzülme şeklinde de gerçekleşmektedir. Jakucs (1959) tarafından yapılan çalışmada beslenme türünün, karst kaynaklarının boşalımlarında gözlenen değişimlerin en önemli kaynağı olduğu ve yıl içinde kaynak boşalımları arasında yüksek değişim katsayısı veya varyans noktasal beslenmeyi, düşük değişim katsayısı ise yaygın beslenmeyi gösterdiği belirtilmektedir (Yalçın, 2010).

Yapılan ölçüm ve analiz sonuçlarında T, EC_{25}, Ca ve HCO_3 parametreleri için ayrı ayrı ve dönemsel CV değerleri ortalama %20 ile %30 arasında değişirken, diğer kimyasal parametreler açısından %45 ile %250 arasında değişmektedir (Tablo 3.13). Elde edilen hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal veriler ile havzanın güneyindeki kaynakların allojenik noktasal ve otojenik yaygın beslenimden etkilendiklerini söyleyebiliriz.

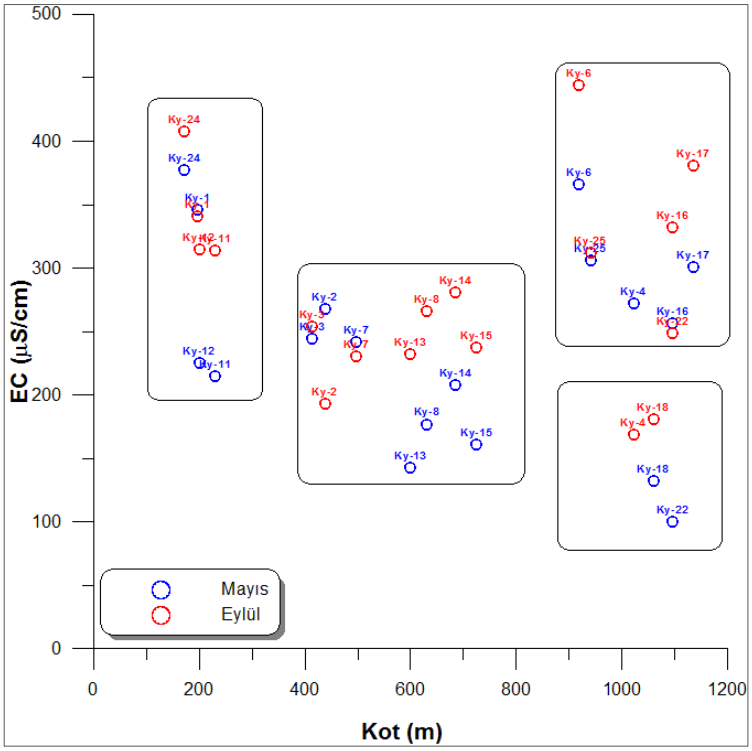
Havzanın güneyindeki karst akifer sisteminin beslenim-boşalım mekanizması bölgenin aktif tektonizmasına da bağlı olarak çoğunlukla kırık hatlarının kontrolündedir. Bundan dolayı güncel yağışlar ile kırık hatları boyunca beslenen akifer sistemleri için hızlı ve dinamik bir beslenim boşalım ilişkisi gelişmiştir. Havzadaki yeraltı sularının güncel yağışlardan beslendiğini izotop verileri de desteklemektedir. Havzada hızlı beslenim-boşalım ilişkisine bağlı olarak fiziksel ve

kimyasal parametrelerde de mevsimsel değişimleri görmek mümkündür. Kurak dönemde akifer sistemleri için beslenimin azalması, yüzey suyu ile oluşacak karışımın azalmasına ve yeraltı sularının dolaşım hızının yavaşlayarak akifer içinde su-kayaç arasındaki etkileşim süresinin artmasına neden olmaktadır. Karstik kaynakların EC, TDS, alkalinite ve toplam sertlik gibi parametrelerin kurak dönemde artış göstermesi bu durumu desteklemektedir.

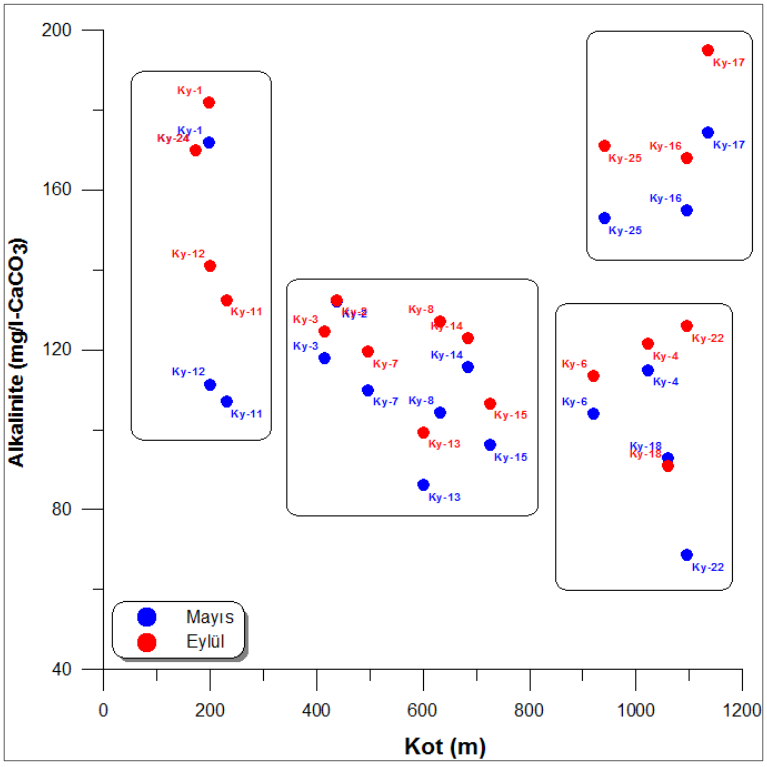
Karstik akiferde ki kaynakların boşalım kotları 172-1135 m arasında değişmektedir. Kaynakların boşalım kotları ile elektriksel iletkenlik (EC) ve alkalinite değerleri arasındaki ilişki ve mevsimsel değişim incelendiğinde belirtilen parametreler açısından kurak dönemdeki artış burada da görülmektedir (Şekil 3.37, Şekil 3.38). Yüksek kotlardan boşalan kaynaklar içinde (>900 m) EC ve alkalinite değerleri açısından 2 farklı grup bulunmaktadır. Bu kaynaklar içinde birinci grupta yüksek kot-yüksek EC ve alkalinite değerlerine sahip kaynaklar ile ikinci grupta yüksek kot-düşük EC ve alkalinite değerine sahip sular bulunmaktadır. Havzada boşalım kotu yaklaşık 400-700 m arasında değişen kaynakların EC ve alkalinite değerleri her bir parametre açısından ortalama bir değer sergilemektedir. Havzada yaklaşık 170-230 m arasında boşalan kaynaklar ise nispeten düşük kot-yüksek EC ve alkalinite değerlerine sahiptir. Bu durum havzadaki kaynakların dolaşım hızının birbirinden farklı ve akiferin tek bir sistemden bağımsız, birbirleriyle bağlantılı veya bağlantılı olmayan parçalı sistemlerden oluştuğunu göstermektedir.

Kayaç-yeraltısuyu etkileşimi, ortamların hidrojeokimyasal açıdan yorumlanması aşamasında önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu nedenle yeraltı suyunun çeşitli mineraller açısından doygunluk durumunun araştırılması gerekir. Doygunluk indeksi (SI), suların çözünmüş mineraller açısından denge durumundan sapmalarını sayısal olarak belirtir (Apello ve Postma, 1996; Drever, 1996; Langmuir, 1997).

Bir çözeltinin herhangi bir minerale göre doygunluk durumu, doygun olmayan (SI<0); doygun (SI=0) ve aşırı doygun (SI>0) çözelti olarak sınıflandırılmaktadır (Stumm ve Morgan, 1981).

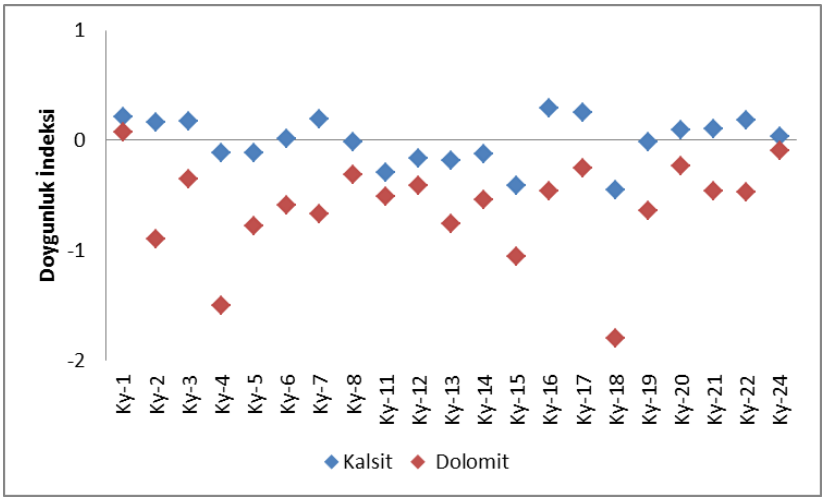


Şekil 3.37. Sapanca Havzası karstik kaynakların EC-Kot ilişkisi

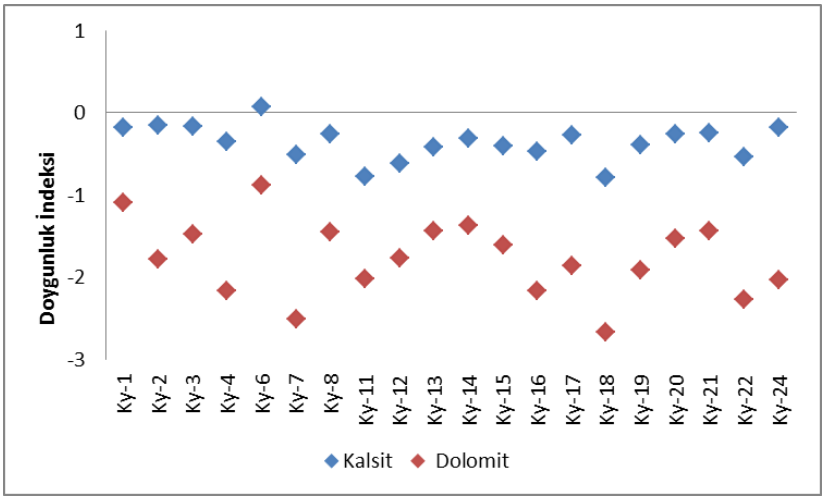


Şekil 3.38. Sapanca Havzası karstik kaynakların Alkalinite-Kot ilişkisi

Sapanca Havzası karstik sistemindeki yeraltı suları karbonat mineralleri (kalsit, dolomit) açısından dönemsel olarak değişik doygunluk düzeyleri göstermektedir. Kurak dönemde yağışların azalmasıyla doğru orantılı olarak yüzeyden olan karışımın azalması karstik kaynakların özellikle kalsit (%50) minerali açısından aşırı doygunluk düzeylerine ulaşmasını sağlamaktadır (Şekil 3.39). Yağışlı dönemde ise bu durum, kaynak beslenimlerin artmasına ve hızlı beslenim-boşalım ilişkisine bağlı olarak karbonat mineralleri açısından doygunluk düzeyinin altında kalmasına neden olmaktadır (Şekil 3.40).



Şekil 3.39. Sapanca Havzası karstik kaynakların karbonat mineralleri açısından doygunluk indeks grafiği (Eylül 2009)

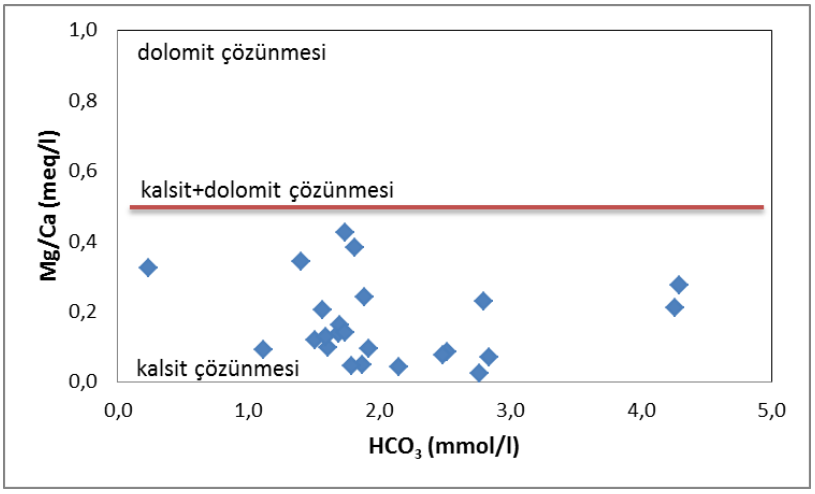


Şekil 3.40. Sapanca Havzası karstik kaynakların karbonat mineralleri açısından doygunluk indeks grafiği (Mayıs 2009)

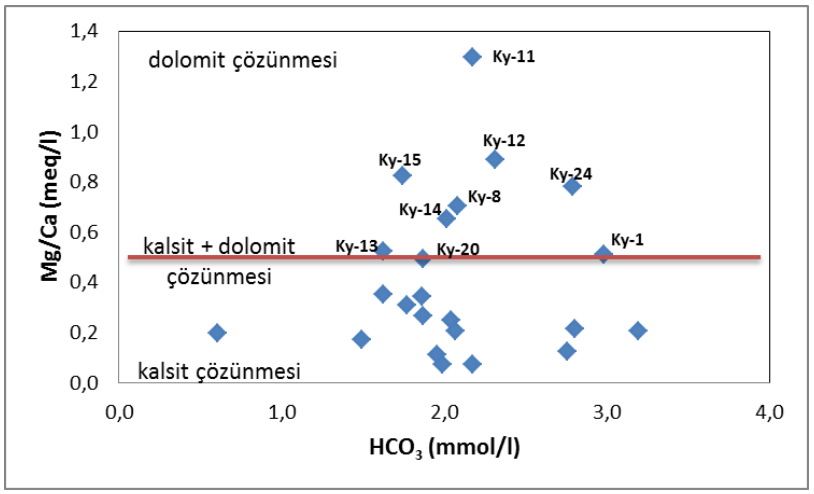
Dolomitin doygunluk altında olduğu bir sistemde dolomit çözünmektedir. Dolomitin çözünürlüğü çözeltiye Ca^{2+}, Mg^{2+} ve HCO_3^- katılması ile mümkündür. Kalsitin

çökelmesi için ise kalsitin doygun hale gelmesi gereklidir. Böylece dolomit çözünmesi ve kalsit çökelimi, Mg/Ca oranı ile ilişkili olarak artacaktır (Barbieri vd., 2005).

Şekil 3.41'de görüldüğü gibi karstik akifer sistemine ait yağışlı dönem (Mayıs, 2009) için yeraltı sularının tamamı kalsit çözündürebilir özelliktedir. Kurak dönem için ise suların bir kısmı dolomit çözündürebilir, bir kısmı ise kalsit çözündürebilir özelliktedir (Şekil 3.42)



Şekil 3.41. Karstik akifer sistemi yeraltı sularının kalsit ve dolomit çözünürlüğü açışından incelenmesi-Mayıs 2009 (Barbieri vd., 2005'ten yararlanarak)



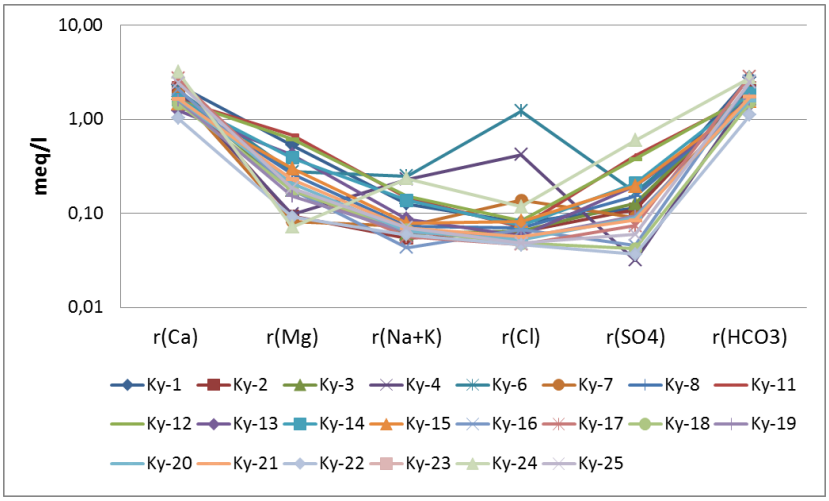
Şekil 3.42. Karstik akifer sistemi yeraltı sularının kalsit ve dolomit çözünürlüğü açışından incelenmesi-Eylül 2009 (Barbieri vd., 2005'ten yararlanarak)

Sapanca Havzası'ndaki karstik kaynakların yağışlı (Mayıs 2009) ve kurak (Eylül 2009) dönem için Yarı Logaritmik Schoeller diyagramları oluşturulmuştur (Şekil 3.43, Şekil 3.44). Bu diyagramlar benzer kökenli, aynı rezervuara ve beslenme alanına sahip sular için benzer pikler vermektedir. İncelenen karstik kaynakların majör anyon ve katyon analiz sonuçlarına göre çizilen Schoeller diyagramında iyonları birleştiren doğruların birbirlerine yakın değerler içinde ve paralel oldukları gözlenmektedir. Buda bölgedeki karstik kaynakların aynı kökenli sular olduklarını ve benzer rezervuara sahip sistemlerden geldiklerini göstermektedir. Ancak incelenen karstik kaynaklar içinde Maşukiye'de bulunan Ardıç Kaynağı (Ky-4) ve Osmanefendi Kaynağı (Ky-6)'nın Cl^- değerleri (~7-20 kat) diğer kaynaklara göre oldukça yüksektir (EK-4). Ayrıca Osmanefendi Kaynağı (Ky-6)'nın pH değerinin mevsimsel değişimden etkilenmemesi ve EC değerinin diğer kaynaklar içinde en yüksek değere sahip olması, aynı hat üzerinde farklı kotlardan boşalan bu iki kaynağın muhtemel aynı dolaşım sisteminden geldiğini düşündürmektedir.

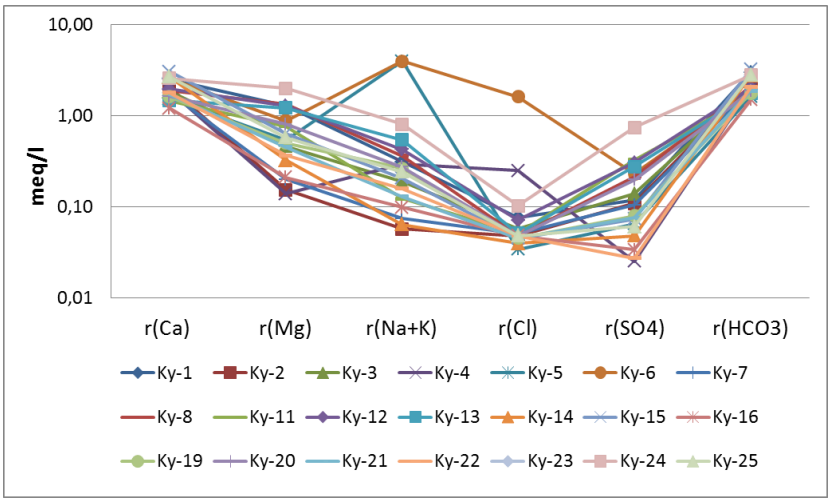
İnceleme alanındaki karstik kaynaklara ait üçgen (Piper) diyagramlar incelendiğinde kaynakların genelinde baskın katyonunun kalsiyum (Ca^{+2}), baskın anyonunun ise bikarbonat (HCO_3^-) olduğu görülmektedir (Şekil 3.45, Şekil 3.46). Karstik kaynaklar genellikle Ca-HCO_3 ve Ca-Mg-HCO_3 fasiyesine sahiptir. Havzada incelenen kaynakların su fasiyesi Tablo 3.14'de sunulmuştur.

Sadece Osmanefendi Kaynağı (Ky-6) ile Ardıç Kaynağı (Ky-4) dönemsel farklılık göstermekle Ca-HCO_3-Cl ve Na/Ca-Ca/Na-HCO_3-Cl'lu su fasiyesindedir (Tablo 3.14). Suların sahip olduğu bu genel kimyasal karakter, rezervuar kayanın bileşimi (rekristalize kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı/mermer) ile paralellik göstermektedir.

Karstik kaynaklarda Mayıs-Eylül 2009 ve Nisan 2010 aylarına ait ortalama nitrat konsantrasyonları sırasıyla 2±1 mg/l, 2,1±1,2 mg/l ve 1,8±1 mg/l'dir (Tablo 3.13). Karstik kaynaklarda ki nitrat değerleri İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği'nde (2013) belirtilen sınır değerlerin (>50 mg/l) altındadır. Kaynak sularında nitrit (<0,05 mg/l), toplam fosfor (0,02< mg/l) ve NH_4-N (<0,04 mg/l) konsantrasyonlarına da rastlanmamıştır (Ek-5).

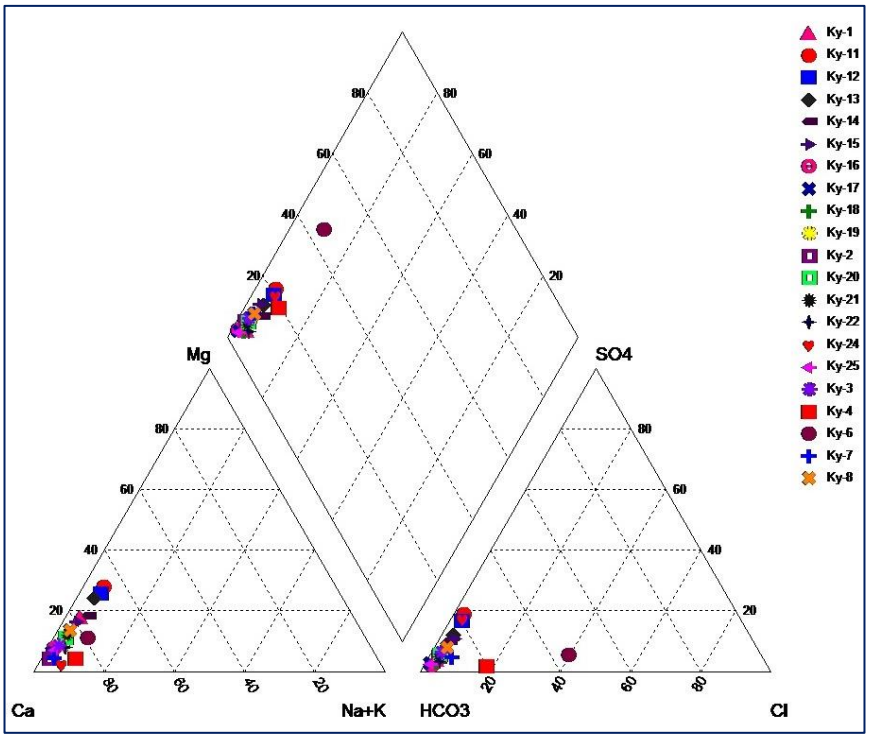


Şekil 3.43. Sapanca Havzası'ndaki karstik kaynaklara ait Schoeller diyagramı (Mayıs 2009)

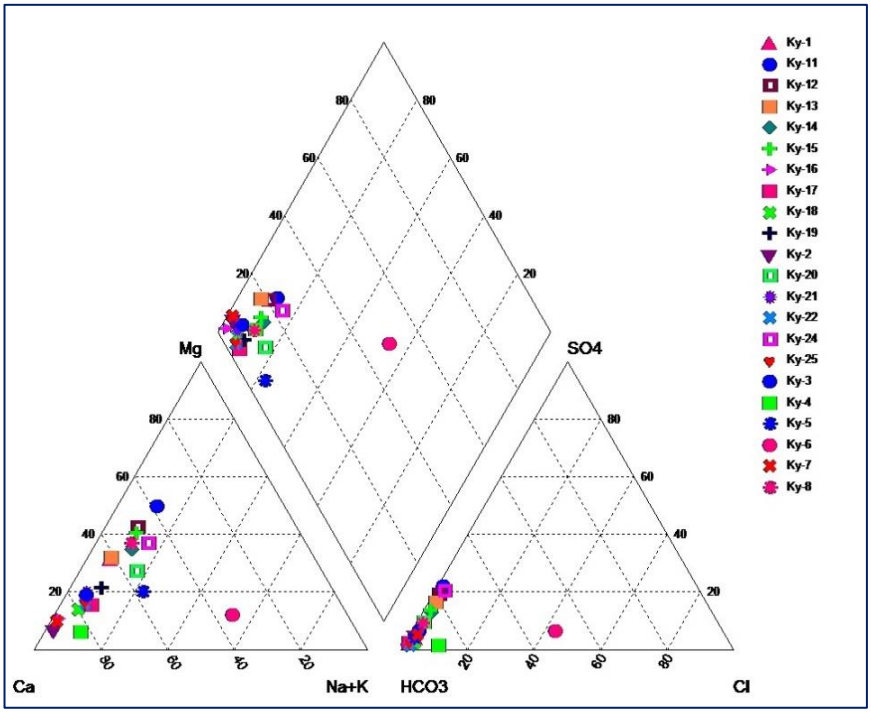


Şekil 3.44. Sapanca Havzası'ndaki karstik kaynaklara ait Schoeller diyagramı (Eylül 2009)

Karstik kaynaklarda Mayıs-Eylül 2009 ve Nisan 2010 aylarına ait ortalama demir konsantrasyonları sırasıyla 0,14±0,04 mg/l, 0,01±0,05 mg/l ve 0,009±0,03 mg/l'dir. Özellikle 2009 yılı Mayıs ayı analiz sonuçlarındaki karstik kaynaklar içinde 0,21 mg/l ile Osmanefendi Kaynağı (Ky-6), 0,2 mg/l ile Soğucak Kaynağı (Ky-17) ve 0,24 mg/l ile Gümüşdere Kaynağı'nın (Ky-25) demir (Fe) konsantrasyonları sınır değerin üzerinde çıkmıştır (EK-5). Kaynak sularında görülen demir konsantrasyonları, suların mermer ve rekristalize kireçtaşları dışında diğer metamorfik temel kayaçlar ile etkileşim içerisinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.45. Sapanca Havzası'ndaki karstik kaynaklara ait Piper diyagramı (Mayıs 2009)



Şekil 3.46. Sapanca Havzası'ndaki karstik kaynaklara ait Piper diyagramı (Eylül 2009)

Tablo 3.14. Havzadaki karstik kaynakların hidrojeokimyasal fasiyesi ve dönemsel değişimi

Kaynak No	Kaynak Adı	Mayıs 2009	Eylül 2009	Nisan 2010
Ky-1	Hamamsu	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$
Ky-2	Akpınar	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$
Ky-3	Dalar Batar	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$
Ky-4	Ardıç	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3\text{-}Cl$
Ky-5	Can çekti	-	$Ca\text{-}Na\text{-}Mg\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$
Ky-6	Osman Efendi	$Ca\text{-}HCO_3\text{-}Cl$	$Na\text{-}Ca\text{-}HCO_3\text{-}Cl$	$Ca\text{-}Na\text{-}HCO_3\text{-}Cl$
Ky-7	Muşmula suyu	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$
Ky-8	Yanık	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$
Ky-11	Kurtköy dere	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$	$Mg\text{-}Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$
Ky-12	İncirlikaya	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$
Ky-13	Şahinkaya2	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$
Ky-14	Dibektaş	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$
Ky-15	Şahinkaya1	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$
Ky-16	Beşpınar	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$
Ky-17	Soğucak	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$
Ky-18	Mağara	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$
Ky-19	Ziyabey	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$
Ky-20	Kayakıran	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$
Ky-21	Nikola	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$
Ky-22	Doksanbeş	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$
Ky-24	Yedigözler	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$
Ky-25	Gümüşdere	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$

3.6.2. Alüvyal akifer hidrojeokimyası

Sapanca Havzası'nın güneyinde incelenen kuyuların tamamı alüvyal akifer sisteminde yer almaktadır. Alüvyal akiferde açılmış olan kuyulardaki yeraltı suyu örnekleri üzerinde Mayıs 2009-Haziran 2010 dönemleri arasında (11 ay) düzenli sıcaklık (T), pH, elektriksel iletkenlik (EC) ve çözünmüş oksijen (ÇO) fiziksel parametre ölçümleri yapılmıştır. İncelenen her bir kuyunun fiziksel parametreleri ve 11 aylık ortalama değerleri Ek-6'da sunulmuştur.

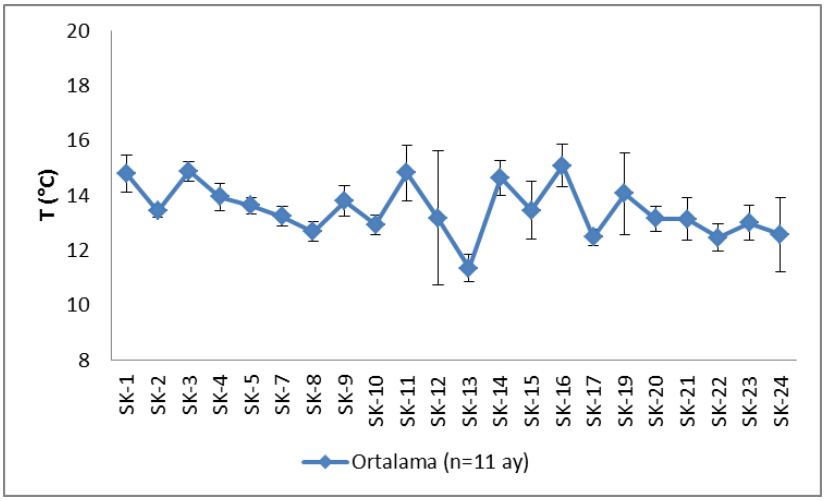
Alüvyal akiferde açılmış kuyulardan kimyasal analiz için 5 dönem (Mayıs-Eylül 2009, Şubat-Nisan-Haziran 2010) örnekleme yapılmıştır. Belirtilen dönemlere ait yeraltı suyu örneklerinin istatiksel sonuçları Tablo 3.15'de, detaylı kimyasal analiz sonuçları ise Ek-7'de sunulmuştur.

Alüvyal akifer sistemine ait yeraltı sularının fiziko-kimyasal özelliklerinin grafiksel gösterimi yapılırken dönemsel değişimlerin daha net ortaya konması amacıyla yağışlı ve kurak dönemi temsil eden Mayıs (2009) ve Eylül (2009) aylarının verileri kullanılmıştır.

Alüvyal akifer sistemindeki yeraltı sularının sıcaklığı 9,3-18,8°C arasında değişirken ortalama sıcaklık değeri yaklaşık 13,5±1,1°C'dir (Tablo 3.15). İncelenen kuyular içinde sıcaklığı en düşük olan Kırkpınar' da ki SK-16 ve SK-17 kuyuları ile mevcut diğer kuyulara göre biraz daha yüksek kotta (82 m) yer alan Kurtköy İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi içindeki SK-13 kuyusudur. Bu kuyu ölçüm yapılan aylar içinde 24 saat aktif olarak çalışan bir kuyudur. Sıcaklığı en yüksek olan Maşukiye'de ki SK-3 ile Göksu sitesi içindeki SK-11 (Ek-6) kuyusu bölgede yer alan en düşük kotlarda yer alan, yılın belli dönemlerinde özellikle yaz aylarında sulama amaçlı kullanılan kuyulardır. Su kuyularının sıcaklık değerlerindeki değişkenlik genelde düşüktür (<1°C). SK-12, SK-15, SK-19 ve SK-24 kuyuları, yeraltı suyu sıcaklığındaki değişkenliğin en yüksek ölçüldüğü kuyulardır (Şekil 3.47). Alüvyal akiferdeki yeraltı sularının sıcaklığı yağışlı ve kurak dönem için küçük değişimler dışında genellikle birbirine paralellik göstermektedir (Şekil 3.48).

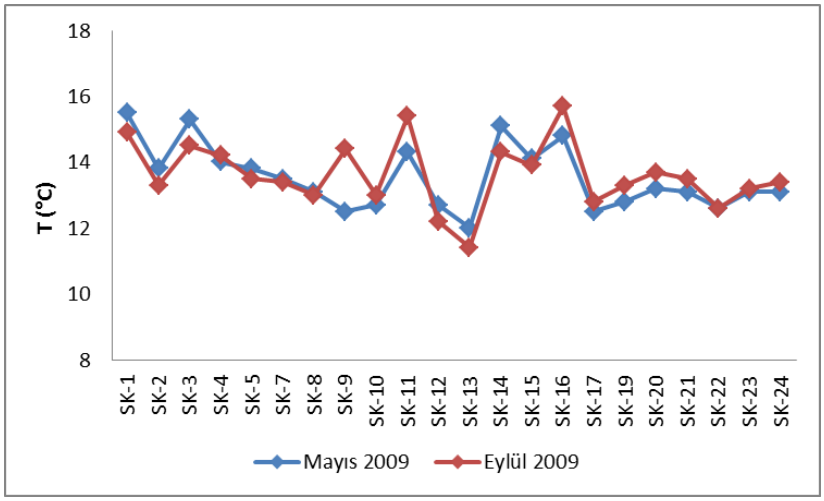
Tablo 3.15. Sapanca Havzası alüvyal akifer sistemindeki yeraltı sularının fiziksel ve kimyasal parametrelerinin istatistiksel özellikleri (n= örnek sayısı)

Dönem		pH	Sıcaklık	Elektriksel İletkenlik (EC)	Çözünmüş Oksijen (DO)	Alkalinite ($CaCO_3$)	Toplam Çözünmüş Madde (TDS)	Toplam Sertlik ($CaCO_3$)	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO_4	HCO_3	NO_3	NO_2
			T ºC	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	minimum	7,01	12,00	292	4,26	123	179	99	25,1	4,3	4,1	0,4	2,2	2,4	122,0	1,7	<0,05
	maksimum	7,61	15,50	689	10,05	309	429	308	98,7	25,0	6,2	1,0	12,5	32,6	306,8	19,0	<0,05
Mayıs 2009	ortalama	7,31	13,53	461	7,04	211	289	196	58,7	12,1	5,4	0,6	7,2	19,0	209,5	7,2	<0,05
(Yağışlı Dönem)	standart sapma	0,15	0,99	106	1,62	47	67	61	20,7	5,4	0,6	0,2	3,1	9,4	46,9	5,0	
		n=22									**n=17**						
	minimum	7,39	11,40	302	3,27	147	179	100	28,1	0,4	3,7	0,5	2,0	2,4	145,5	1,2	<0,2
	maksimum	7,98	15,70	670	9,54	311	411	281	96,4	19,9	21,8	1,6	12,4	30,5	308,5	18,6	<0,2
Eylül 2009	ortalama	7,69	13,62	450	5,95	215	278	179	56,9	8,9	8,8	0,8	7,1	18,6	213,5	8,2	<0,2
(Kurak Dönem)	standart sapma	0,14	1,01	96	1,75	41	60	49	16,4	4,5	4,8	0,3	3,1	8,7	40,2	5,4	
		n=22									**n=21**						
	minimum	6,91	10,50	306	1,16	123	209	146	45,8	3,5	3,3	0,2	3,4	16,0	122,8	-	-
	maksimum	7,48	14,70	688	9,94	260	433	317	109,0	13,4	13,1	1,2	15,3	40,5	259,7	-	-
Şubat 2010	ortalama	7,18	12,86	456	6,49	185	308	218	72,1	9,2	7,5	0,3	7,7	27,0	184,4	-	-
(Yağışlı Dönem)	standart sapma	0,17	1,22	104	2,33	35	59	53	19,3	2,9	2,9	0,3	3,0	6,6	35,3	-	-
		n=21									**n=21**						
	minimum	6,96	10,50	300	1,36	126	258	79	17,7	3,7	3,9	0,5	2,0	2,1	124,6	0,2	<0,2
	maksimum	7,71	15,70	690	11,54	317	592	283	96,8	13,9	50,7	1,2	12,5	31,1	314,1	18,2	<0,2
Nisan 2010	ortalama	7,48	13,17	464	7,27	213	397	176	55,7	9,0	10,0	0,8	6,4	17,4	211,3	7,2	<0,2
(Yağışlı Dönem)	standart sapma	0,18	1,09	107	2,73	52	97	56	20,7	3,0	9,7	0,2	3,0	9,1	51,4	5,0	
		n=21									**n=21**						
	minimum	6,95	12,10	289	0,66	118	215	132	36,6	4,5	4,3	0,7	4,0	19,3	117,8	-	-
	maksimum	7,55	18,80	692	3,29	300	524	668	117,0	96,8	47,9	2,0	17,2	42,6	299,6	-	-
Haziran 2010	ortalama	7,27	14,01	454	1,33	202	350	291	67,7	29,5	10,5	1,1	8,3	32,7	201,3	-	-
(Kurak Dönem)	standart sapma	0,16	1,50	107	0,61	48	86	139	20,0	29,1	8,9	0,3	3,5	7,5	48,4	-	-
		n=22									**n=22**						



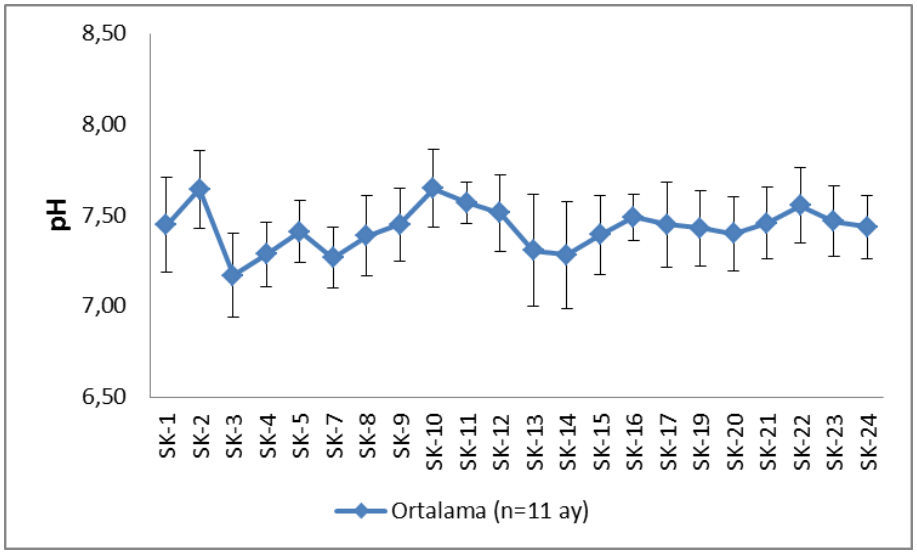
Şekil 3.47. Sapanca Havzası alüvyal akiferdeki kuyulara ait 11 aylık ortalama sıcaklık (°C) değerleri

Alüvyal akifer sistemindeki yeraltı sularının pH değerleri dönemsel olarak 6,91 ile 7,98 arasında değişmekle nötr-alkali bir karakter sergilemektedir (Ek-6). Yeraltı sularının yağışlı (Mayıs 2009) ve kurak dönem (Eylül 2009) ortalama pH değerleri sırasıyla 7,31±0,15 ve 7,69±0,14'tür (Tablo 3.15).

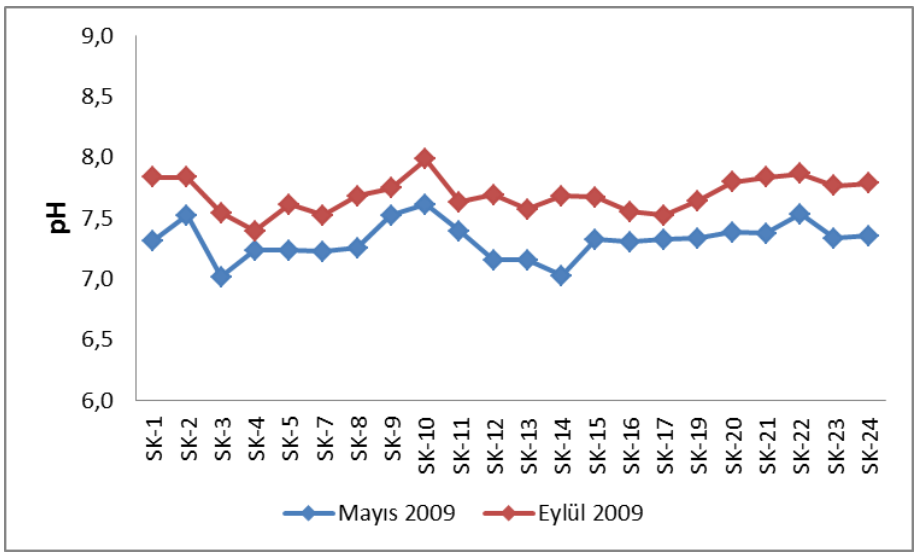


Şekil 3.48. Sapanca Havzası alüvyal akiferdeki kuyuların dönemsel sıcaklık (°C) değişimi

Kuyuların 11 aylık ortalaması ise 7,43±0,1'dir. İnceleme alanındaki kuyular içinde en yüksek pH değeri Maşukiye'de bulunan Cansu Alabalık (SK-2) tesisi içindeki kuyu ile Coca Cola (SK-10) kuyusuna aittir (Şekil 3.49). Alüvyal akiferdeki yer altı sularının dönemsel değişimi incelendiğinde, kurak dönem pH değerlerinin yağışlı döneme göre ortalama %3'lük bir artış gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 3.50).

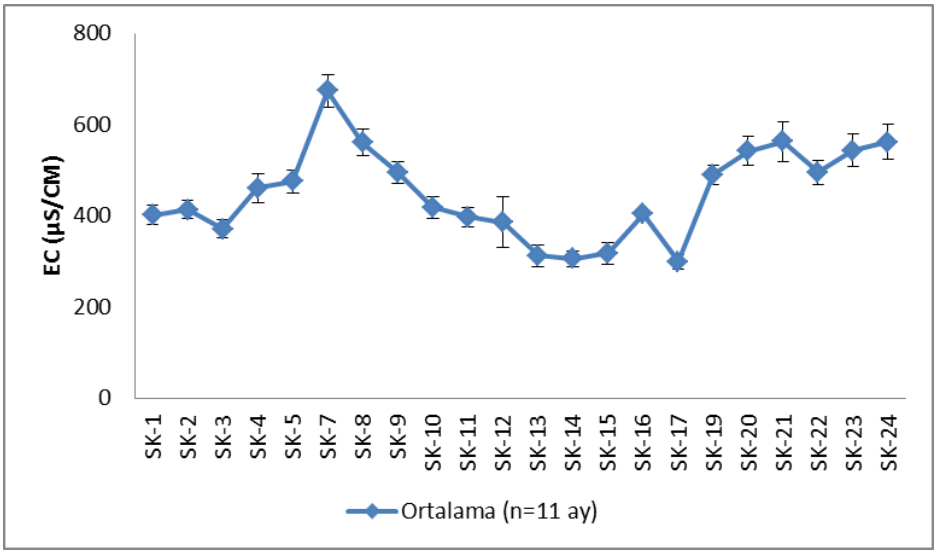


Şekil 3.49. Sapanca Havzası alüvyal akifer sistemindeki kuyuların 11 aylık ortalama pH değerlerinin değişimi

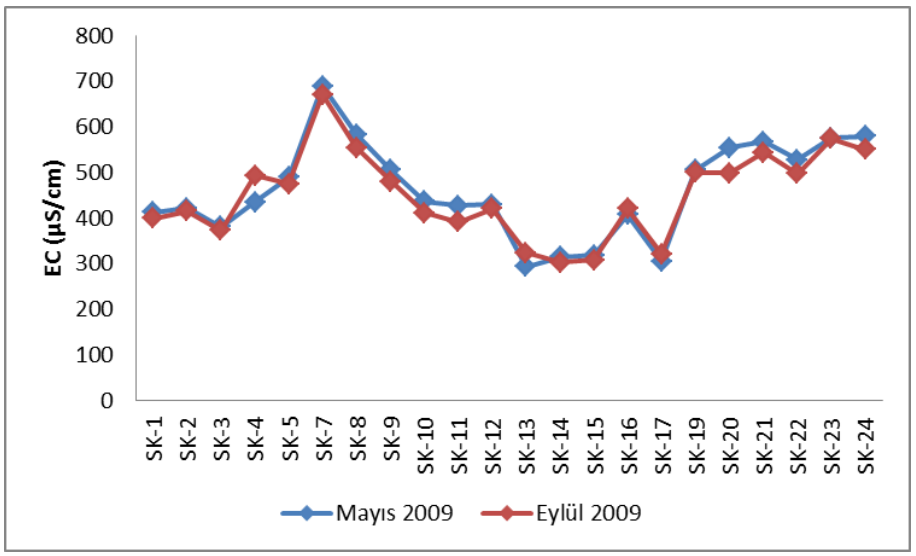


Şekil 3.50. Sapanca Havzası alüvyal akifer sistemindeki kuyuların dönemsel pH değişimi

Alüvyal akifer sistemindeki yeraltı sularının EC değerleri 251-696 µS/cm ile geniş bir aralıkta yer almaktadır (Tablo 3.15, Ek-6). Yeraltı sularının yağışlı (Mayıs 2009) ve kurak dönem (Eylül 2009) ortalama EC değerleri sırasıyla 461±106 µS/cm ve 450±96 µS/cm'dir. Tüm kuyuların 11 aylık ortalama elektriksel iletkenlik değeri ise 452±101 µS/cm'dir (Şekil 3.51). En yüksek elektriksel iletkenlik değeri Maşukiye'de ki SK-7 kuyusunda ölçülmüştür. Kuyuların EC değerlerindeki dönemsel değişkenlik çok azdır (Şekil 3.52).



Şekil 3.51. Sapanca Havzası alüvyal akifer sistemindeki kuyuların 11 aylık ortalama EC (µS/cm) değerleri

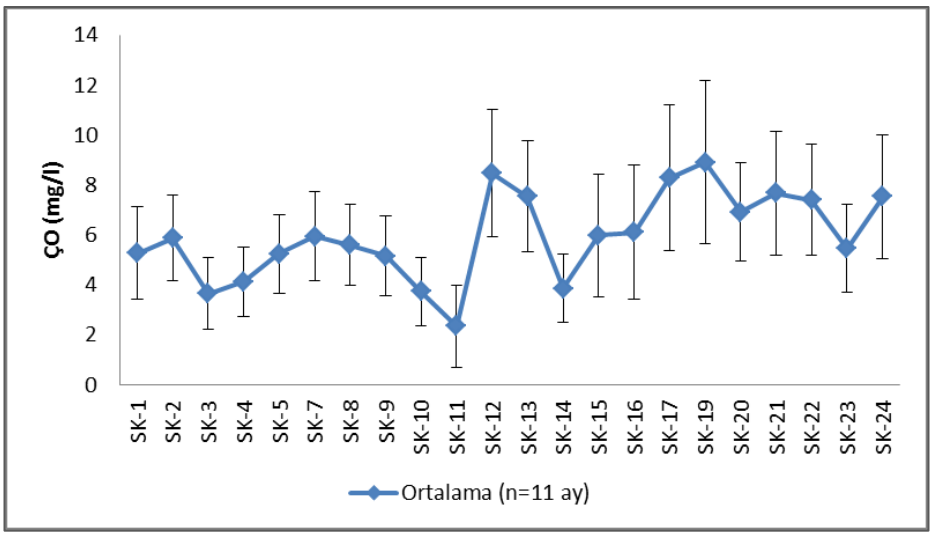


Şekil 3.52. Sapanca Havzası alüvyal akifer sistemindeki kuyuların dönemsel EC (µS/cm) değişimi

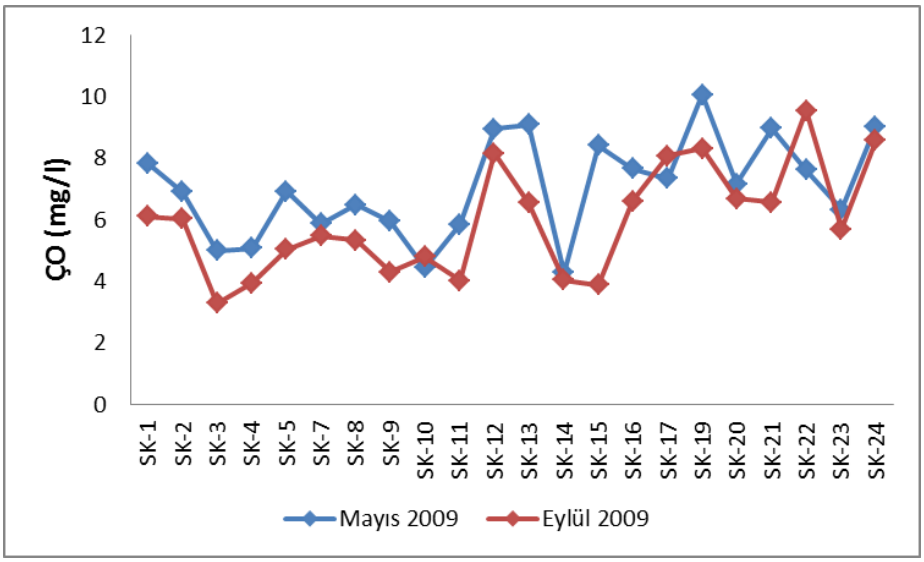
Kuyularda ölçülen ortalama çözünmüş oksijen (mg/l) değerleri, 0,48-11,54 mg/l ile geniş bir aralıkta yer almaktadır (Ek-6). Yeraltı sularının yağışlı (Mayıs 2009) ve kurak dönem (Eylül 2009) ortalama ÇO değerleri sırasıyla 7,04±1,62 mg/l ve 5,95±1,75 mg/l'dir. Tüm kuyuların 11 aylık ortalama çözünmüş oksijen değerleri ise 5,37±1,8 mg/l'dir (Şekil 3.53). Bölgedeki en düşük çözünmüş oksijen değeri (0,48 mg/l) Aralık (2009) ayı içinde Maşukiye'de ki SK-11 numaralı kuyuda ölçülmüştür (Şekil 3.53, Ek-6). Maşukiye Göksu sitesi içinde bulunan bu kuyuda ayrıca kokuda tespit edilmiştir. Göksu sitesi eski bataklık yatağı üzerine kurulmuştur. Kuyu

sularında 3 dönem (Mayıs-Eylül 2009, Nisan 2010) için ölçülebilen toplam organik karbon konsantrasyonunun ortalaması ise yüksektir (TOK= 1,22 mg/l) (Ek-7).

Kuyularda çözünmüş oksijen açısından yağışlı dönemde ortalama %12'ye varan artış gözlenmektedir (Şekil 3.54). Yağışlı dönemde kuyuların çözünmüş oksijen değerinin beslenimin artmasıyla doğru orantılı olarak arttığı söylenebilir.

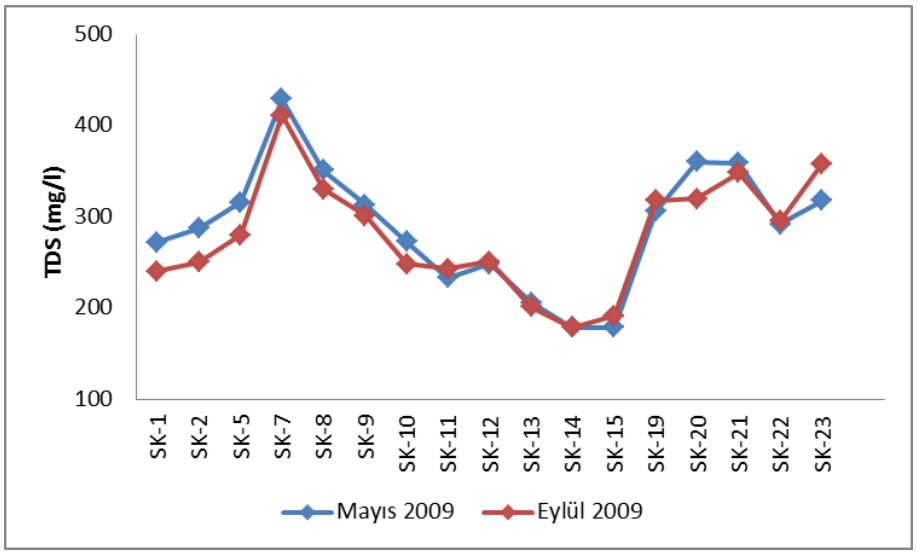


Şekil 3.53. Sapanca Havzası alüvyal akifer sistemindeki kuyuların 11 aylık ortalama ÇO (mg/l) değerleri



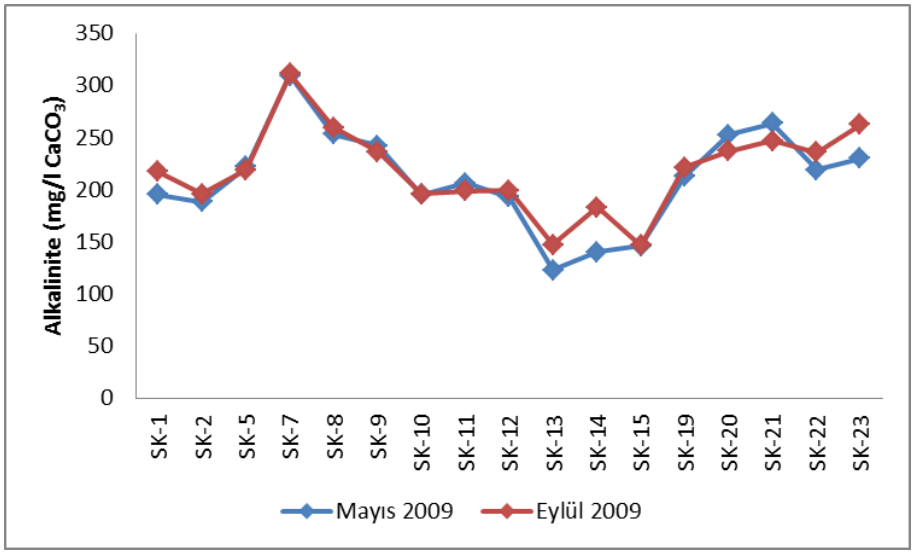
Şekil 3.54. Sapanca Havzası alüvyal akifer sistemindeki kuyuların dönemsel ÇO (mg/l) değişimi

Alüvyal akiferdeki yeraltı sularının TDS değerleri 179-429 mg/l arasında değişmektedir (Ek-7). Yağışlı (Mayıs 2009) ve kurak (Eylül 2009) dönem TDS değerleri birbirine çok yakın olmakla ortalamaları sırasıyla 289±67 mg/l ve 278±60 mg/l'dir (Tablo 3.15). İncelenen kuyular içinde en yüksek TDS değeri Maşukiye' de ki SK-7 (429 mg/l) kuyusudur. En düşük TDS değerleri ise Kurtköy ve Kırkpınar'da bulunan SK-13 (201 mg/l), SK-14 (179 mg/l) ve SK-15 (191 mg/l) kuyularıdır (Şekil 3.55, Ek-7).



Şekil 3.55. Sapanca Havzası alüvyal akifer sistemindeki kuyuların dönemsel TDS (mg/l) değişimi

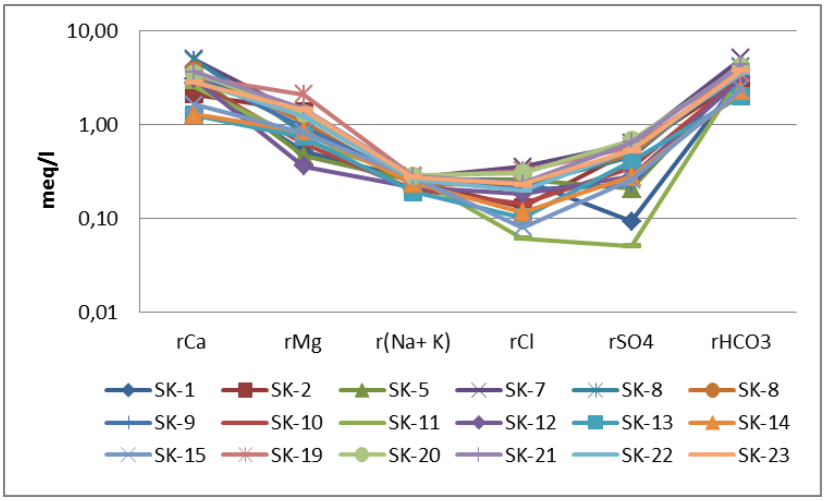
Alüvyal akifer sistemindeki yeraltı sularının alkalinite değerleri 118-317 mg/l $CaCO_3$ arasında değişmektedir (Ek-7). Yağışlı (Mayıs 2009) ve kurak (Eylül 2009) dönem alkalinite ortalamaları sırasıyla 211±47-215±41 mg/l $CaCO_3$'tır (Tablo 3.15). Kurak dönemde alkalinite değerlerinde ortalama %4 oranında bir artış gözlenmektedir (Şekil 3.56). İncelenen kuyular içinde her iki dönem için ölçülen en yüksek alkalinite değeri Maşukiye'de ki SK-7 kuyusudur her iki dönem ortalaması 310±1,2 mg/l $CaCO_3$'tır. Yağışlı ve kurak dönem için ölçülen en düşük alkalinite değeri Kurtköy'de ki SK-13 kuyularına aittir her iki dönem ortalaması 135±17 mg/l $CaCO_3$'tır (Ek-7).



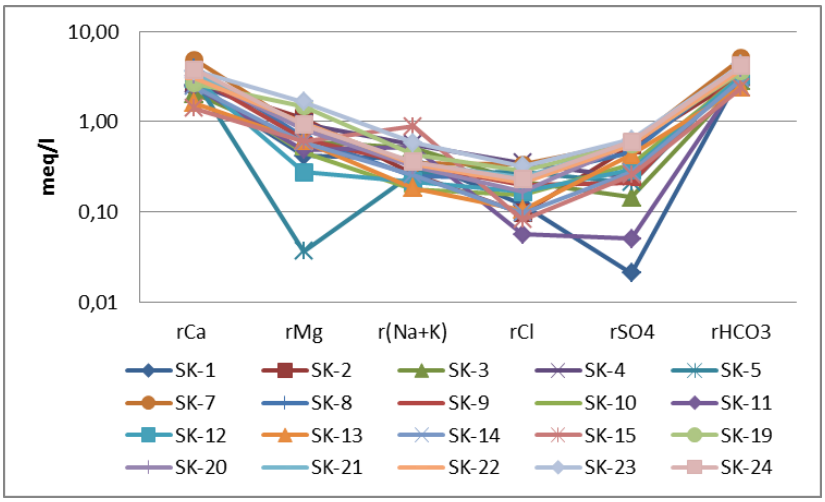
Şekil 3.56. Sapanca Havzası alüvyal akifer sistemindeki kuyuların dönemsel Alkalinite (mg/l $CaCO_3$) değişimi

Sapanca Ovası'nda yayılım gösteren alüvyal akifere ait yeraltı suları toplam sertlik açısından mevsimsel olarak çok az değişkenlik göstermektedir. Ovadaki yeraltı suları çoğunlukla orta sert-sert ve çok sert sınıfına girmektedir. Ovadaki çok sert su sınıfına giren kuyular Maşukiye'de ki SK-5, SK-7, SK-8 ve SK-9 kuyuları ile Sapanca'da ki SK-19, SK-20, SK-21, SK-22, SK-23 ve SK-24 kuyularıdır (Ek-7).

Sapanca Ovası'ndaki alüvyal akiferde açılmış kuyuların yağışlı (Mayıs 2009-Nisan 2010) ve kurak (Eylül 2009) dönem için Yarı Logaritmik Schoeller diyagramları oluşturulmuştur (Şekil 3.57, Şekil 3.58). İncelenen kuyulardan alınan yeraltı suyu örneklerinin majör anyon ve katyon iyonlarını birleştiren doğruların birbirlerine yakın değerler içinde ve paralel oldukları gözlenmektedir. Buda alüvyal akiferdeki yeraltı sularının aynı rezervuar içinde benzer kökenli sular olduğunu göstermektedir. Maşukiye'de ki SK-1 ve SK-11 kuyusu sadece kurak dönem (Eylül 2009) içinde Mg ve SO_4 açısından diğer dönemlere nazaran daha düşük konsantrasyon sergilemektedir (Şekil 3.58). Bu kuyular dışındaki diğer yeraltı suları farklı dönemler içerisinde birbirleriyle paralellik göstermektedir.



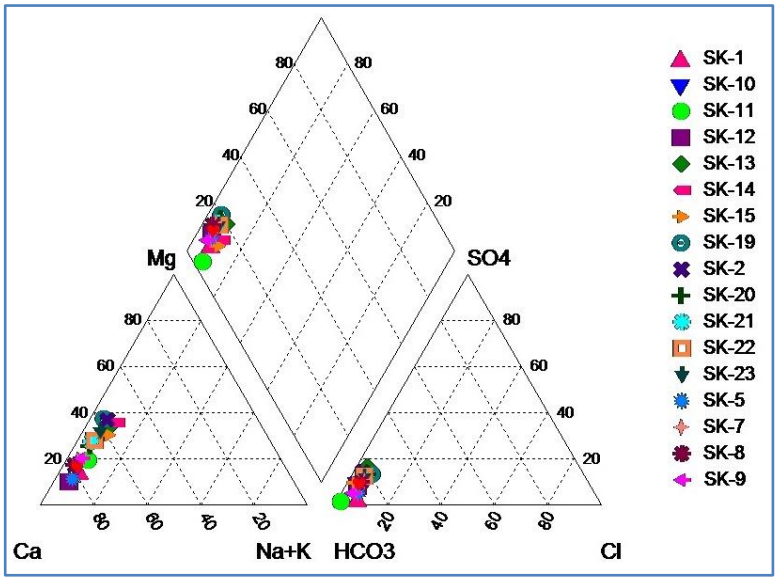
Şekil 3.57. Sapanca Havzası alüvyal akiferdeki kuyuların yağışlı dönem (Mayıs 2009) Schoeller diyagramı



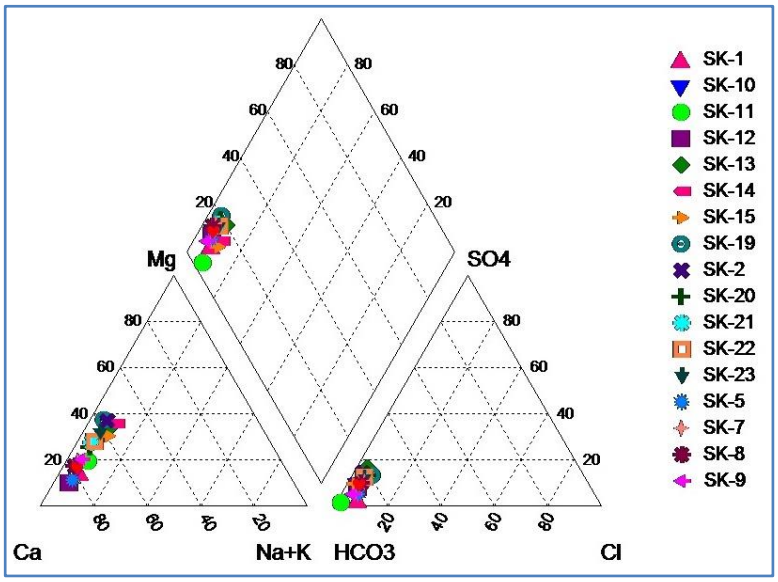
Şekil 3.58. Sapanca Havzası alüvyal akiferdeki kuyuların kurak dönem (Eylül 2009) Schoeller diyagramı

Sapanca Ovası'ndaki yeraltı suları majör katyon ve anyon içerikleri açısından genelde benzer dağılım gösterirler (Şekil 3.59, Şekil 3.60). Yarı logaritmik Schoeller ve Piper grafiklerine göre yeraltı sularının tamamının baskın katyonu kalsiyum (Ca^{+2}), baskın anyonu ise bikarbonattır (HCO_3^-) tır. Katyon içerikleri $rCa^{+2}>rMg^{+2}>r(Na^+ + K^+$ şeklinde, anyon içerikleri ise $rHCO_3^->rSO_4^{-2}>rCl^-$ şeklinde bir dizilime sahiptir.

Sonuç olarak alüvyal akiferdeki yeraltı sularının çoğunlukta Ca-HCO_3 ve Ca-Mg-HCO_3'lı su fasiyesinde olduğu görülmektedir. Sadece SK-13 ve SK-15 numaralı kuyuların su fasiyesi (Ca-Mg-HCO_3-SO_4 ve Ca-Mg-Na-HCO_3) dönemsel olarak değişkenlik göstermektedir (Tablo 3.16.).



Şekil 3.59. Sapanca Havzası alüvyal akiferdeki kuyuların yağışlı dönem Piper diyagramı (Mayıs 2009)



Şekil 3.60. Sapanca Havzası alüvyal akiferdeki kuyuların kurak dönem (Eylül 2009) Schoeller diyagramı

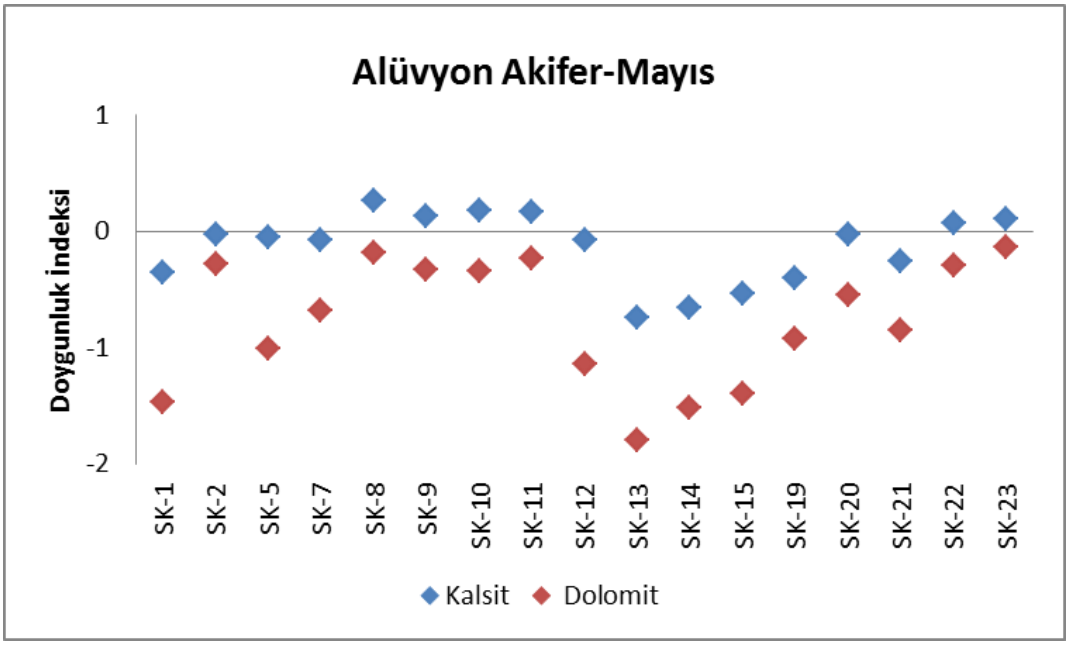
Tablo 3.16. Sapanca Havzası alüvyal akiferin hidrojeokimyasal fasiyesi ve dönemsel değişimi

Kuyu No	Kuyu Yeri	Kuyu Adı	Mayıs 2009	Eylül 2009	Şubat 2010	Nisan 2010	Haziran 2010
SK-1	Maşukiye	37612	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3
SK-2	Maşukiye	Cansu alabalık	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Mg-Ca-HCO_3
SK-3	Maşukiye	Ziya bey	-	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3
SK-4	Maşukiye	Yayla alabalık	-	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Mg-Ca-HCO_3
SK-5	Maşukiye	37611	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3
SK-7	Maşukiye	37610	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3
SK-8	Maşukiye	Özel bahçe	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3
SK-9	Maşukiye	37614	Ca-Mg-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3
SK-10	Maşukiye	Coca Cola	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3
SK-11	Maşukiye	Göksu sitesi	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3
SK-12	Yanık	Muhtarlık	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3
SK-13	Kurtköy	27132-İ.Ü.	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
SK-14	Kurtköy	Belediye sondajı	Ca-Mg-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3
SK-15	Kırkpınar	Belediye yanı	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Na-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-Na-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
SK-16	Kırkpınar	Belediye arkası	-	-	-	Na-Ca-HCO_3	Na-Ca-HCO_3
SK-17	Kırkpınar	Manors sitesi	-	-	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3
SK-19	Sapanca	L5 Atilla 1	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	-	-	Mg-Ca-HCO_3
SK-20	Sapanca	L10	Ca-Mg-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Mg-Ca-HCO_3
SK-21	Sapanca	L2	Ca-Mg-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Ca-HCO_3	Mg-Ca-HCO_3
SK-22	Sapanca	L3	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Mg-Ca-HCO_3
SK-23	Sapanca	L1	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Mg-Ca-HCO_3
SK-24	Sapanca	Kestanelik	-	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3	Mg-Ca-HCO_3

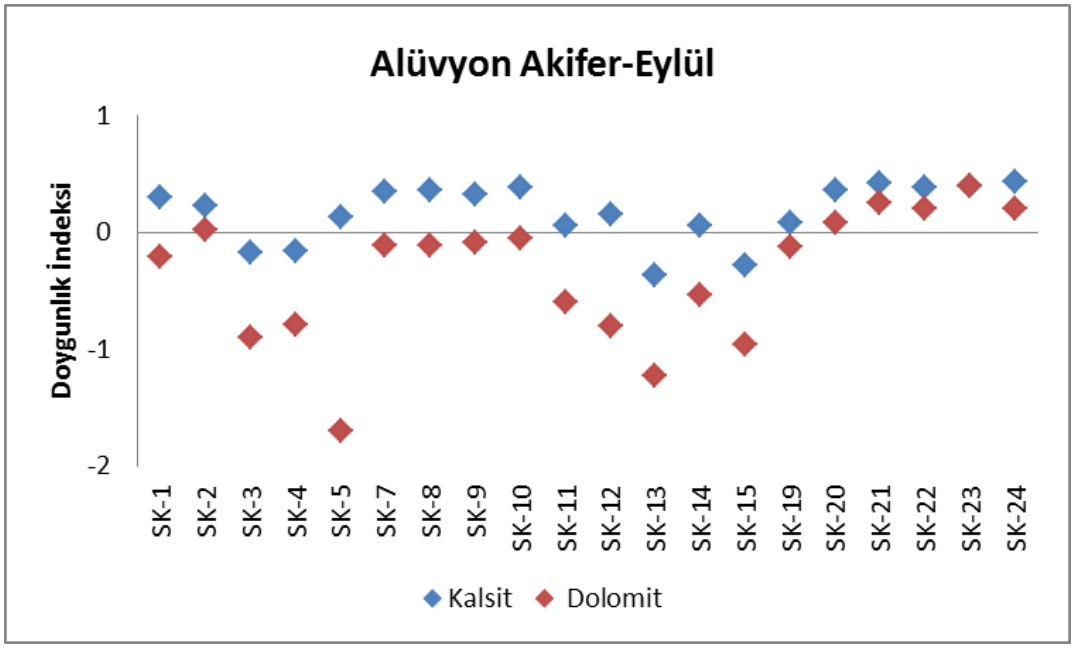
Sapanca Havzası alüvyal akifer sistemindeki yeraltı suları karbonat mineralleri (kalsit, dolomit) açısından dönemsel ve bölgesel olarak değişik doygunluk düzeyleri göstermektedir. Yağışlı dönem (Mayıs 2009) için alüvyal aifer sistemindeki yeraltı suları dolomit açısından doygunluk sınırının altında kalmıştır. Kalsit minerali açısından ise bölgesel farklılıklar gözlenmektedir. Maşukiye bölgesi (SK-1-11) ve Sapanca bölgesi (SK-19-23) kalsit minerali açısından denge konumuna yakın veya biraz üzerindedir. Kurtköy ve Kırkpınar (SK-12-15) bölgesi ise kalsit ve dolomit açısından doygunluk düzeyinin altında kalmaktadır (Şekil 3.61).

Kurak dönem (Eylül 2009) için ise, alüvyal aifer sistemindeki yeraltı suları kalsit minerali açısından çoğunlukla denge konumuna yakın veya doygunluk sınırının üzerinde yer almaktadır. Dolomit minerali açısından ise Sapanca bölgesi (SK-19-24) ve kısmen de Maşukiye bölgesinde (SK-1-11) dengeye yakın veya doygunluk sınırının üzerindedir. Kırkpınar bölgesinde (SK-12-15) ise doygunluk sınırının altındadır (Şekil 3.62) .

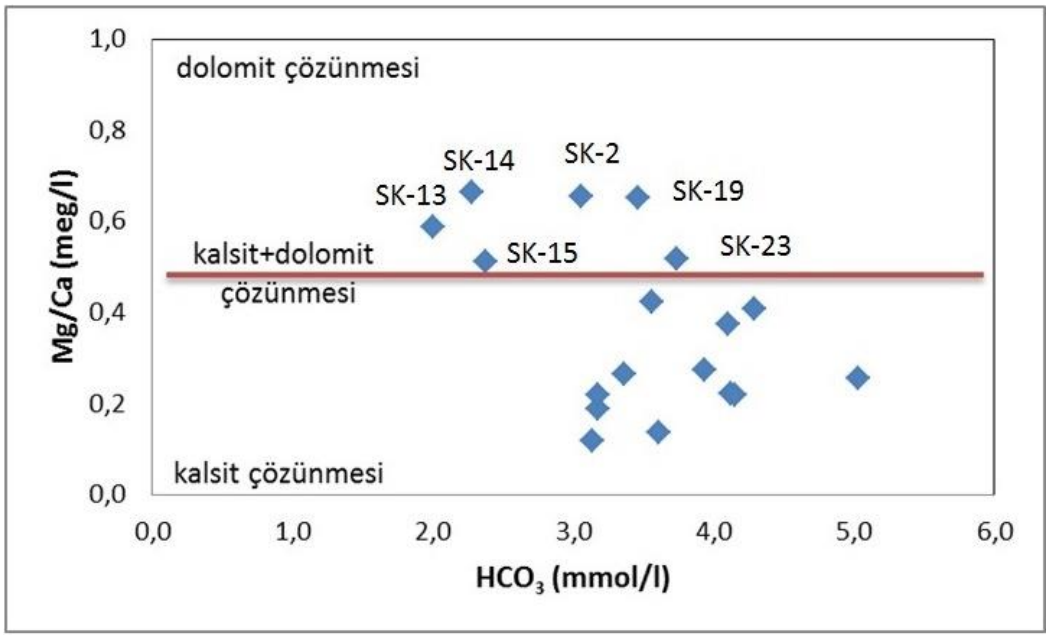
Alüvyal akifer sisteminde yağışlı dönem için suların bir kısmı dolomit çözündürebilir bir kısmı ise kalsit çözündürebilir özelliktedir (Şekil 3.63). Kurak dönem için ise suların tümü (SK-19 hariç) kalsit çözündürebilir özelliktedir (Şekil 3.64).



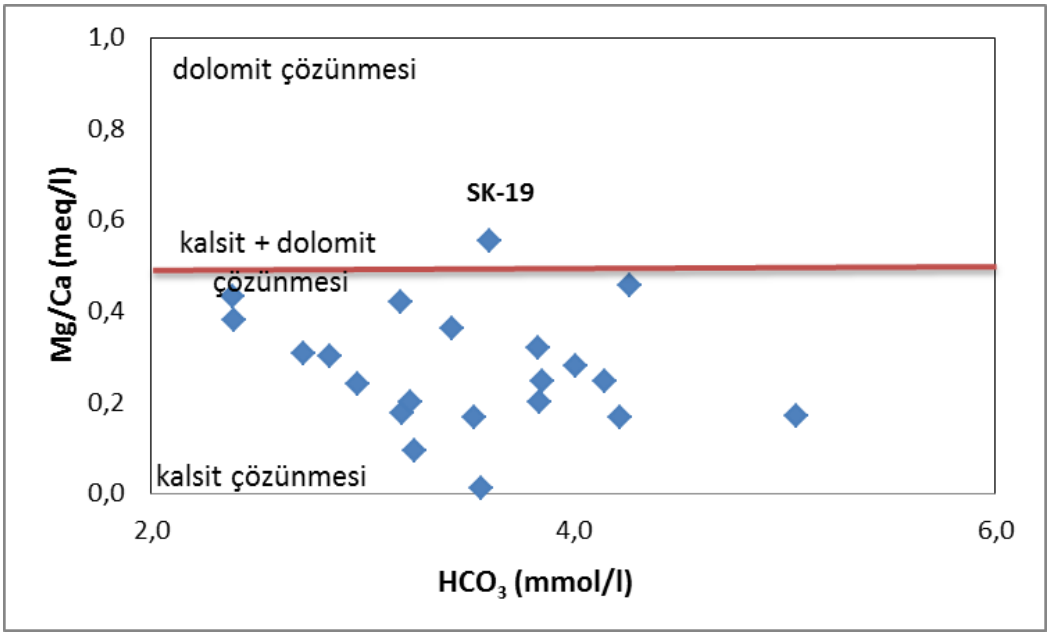
Şekil 3.61. Sapanca Havzası alüvyal akifer sisteminde açılan kuyuların karbonat mineralleri açısından doygunluk indeks grafiği (Mayıs 2009)



Şekil 3.62. Sapanca Havzası alüvyal akifer sisteminde açılan kuyuların karbonat mineralleri açısından doygunluk indeks grafiği (Eylül 2009)



Şekil 3.63. Alüvyal akifer sistemi yeraltı sularının kalsit ve dolomit çözünürlüğü açışından incelenmesi-Mayıs 2009 (Barbieri vd., 2005'ten yararlanarak)



Şekil 3.64. Alüvyal akifer sistemi yeraltı sularının kalsit ve dolomit çözünürlüğü açışından incelenmesi-Eylül 2009 (Barbieri vd., 2005'ten yararlanarak)

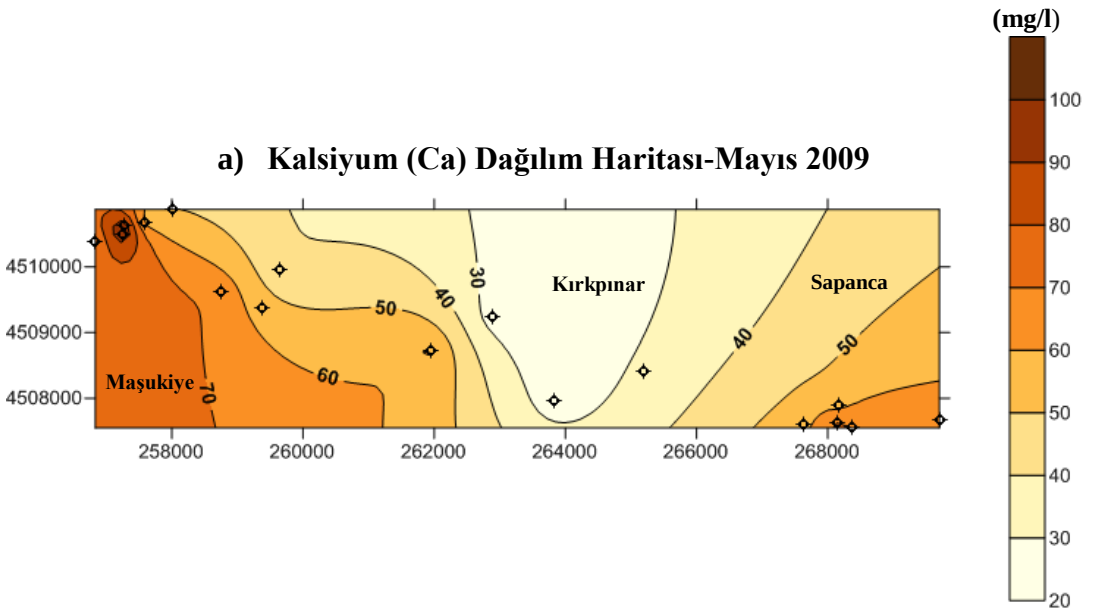
Alüvyal akiferdeki suların kimyası karstik akiferden boşalan kaynak suların kimyasına benzerlik göstermektedir. Bu durum, alüvyal akiferlerin beslenimini de bölgede geniş alanlara dağılmış yüksek kotlardaki Triyas yaşlı metamorfik kayaç topluluğu içerisindeki mermer ve rekristalize kireçtaşlarını kat ederek gelen sulardan kaynaklanabileceğini işaret etmektedir. Suların dolaşım yollarının uzunluğu ve akifer

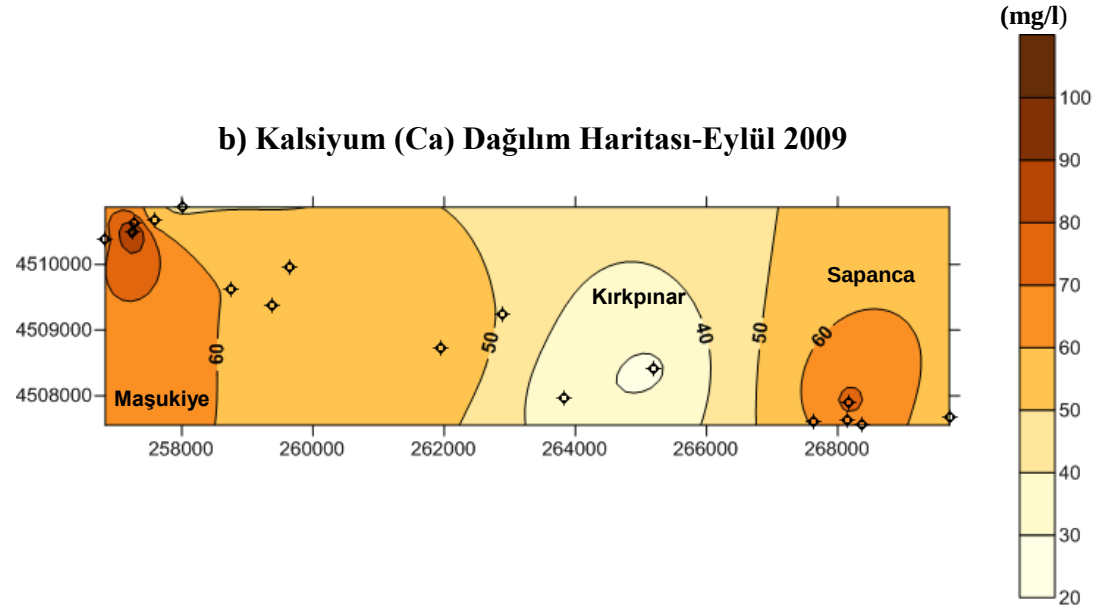
içerisinde yeraltı suyu hareketinin nispeten yavaş olması, yeraltı sularının akifer sistemi içinde daha uzun süreyle su kayaç ilişkisine maruz kalmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, alüvyon akiferlerine ait yeraltı suları karstik sistem sularına göre çözünmüş madde miktarı açısından yaklaşık %50 oranında daha fazla zenginleşmiştir.

Alüvyal akiferin yeraltı suyu kimyası hidrojeokimyasal açıdan irdelendiğinde, yeraltı suyun kimyasının alansal olarak homojen bir dağılım göstermediği ve bu heterojenliğin 3 farklı bölgede (Maşukiye, Kurtköy-Kırkpınar ve Sapanca) izlendiği açıkça görülmektedir. Bu farklılığı ortaya koymak amacıyla kurak dönemi temsilen Eylül ayı, yağışlı dönemi temsilen Mayıs ayı seçilerek bazı fiziksel ve kimyasal parametreler açısından alansal dağılım haritaları oluşturulmuştur (Şekil 3.65, Şekil 3.66, Şekil 3.67, Şekil 3.68, Şekil 3.69).

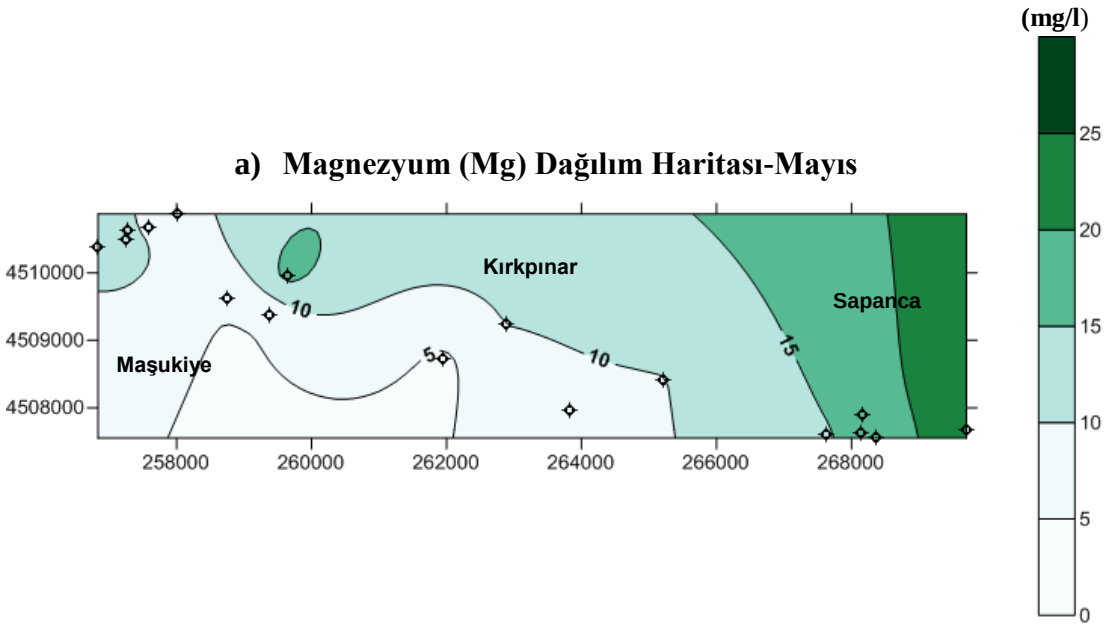
Alüvyon akiferinin yeraltı suyu Mg içeriği gölün batısından yani Sapanca'dan Maşukiye'ye doğru, doğuya doğru zenginleşmektedir. Elektriksel iletkenlik, toplam çözünmüş madde, kalsiyum ve klor açısından bakıldığında, Kurtköy-Kırkpınar bölgesi yeraltı suları, Maşukiye ve Sapanca bölgesi yeraltı sularına göre daha düşük konsantrasyonlar içermektedir (Şekil 3.65, Şekil 3.66, Şekil 3.67, Şekil 3.68, Şekil 3.69). Kırkpınar-Kurtköy bölgesinin diğer bölgelere göre daha hızlı dolaşım sergileyen dağ önü bir beslenime sahip olduğunu göstermektedir.

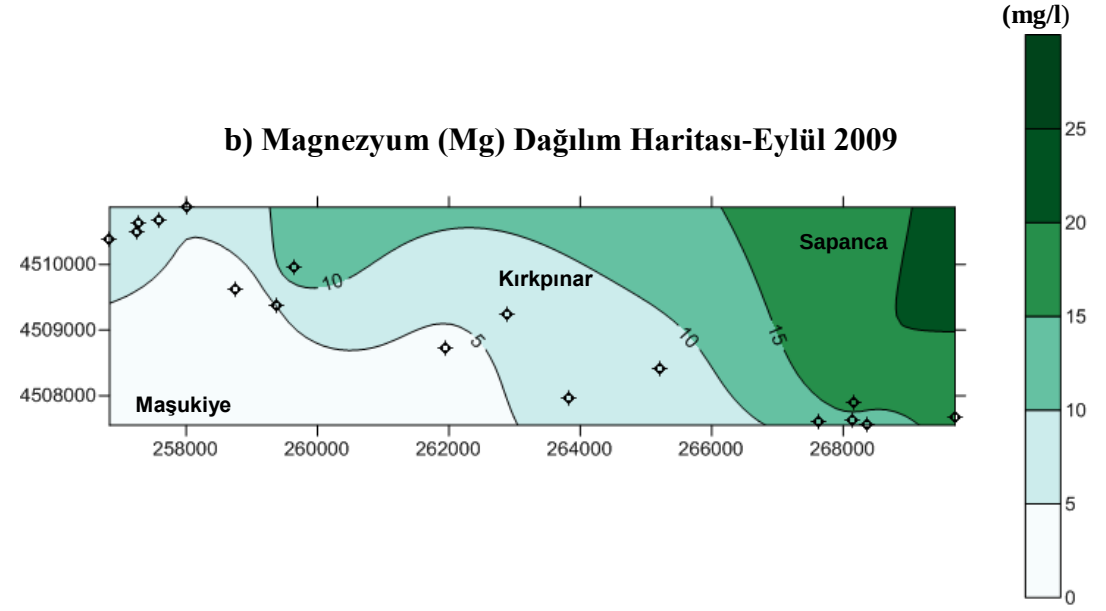
Hidrojeoloji kısmında da değinildiği üzere Kırkpınar bölgesinde bir su sırtı bulunmaktadır. Bu su sırtının olduğu birimler yüksek geçirimliliğe (permeabilite) sahiptir. Bu bölgeden Maşukiye'ye ve Sapanca'ya doğru gidildikçe birimlerin geçirgenliği nispeten azalmaktadır. Bu sebeple Kırkpınar'ın olduğu bölge, yüksek geçirimli birimler boyunca hızlı bir beslenim-boşalım özelliği göstermektedir. Kırkpınar bölgesinin kalsit ve dolomit mineralleri açısından çoğunlukla doygunluk düzeyinin altında kalması, ayrıca yağışlı ve kurak dönem içinde büyük değişkenlik göstermemesi, bu bölgede sürekli bir beslenimin olduğunu ve bununla doğru orantılı olarak su-kayaç etkileşim süresinin azalmasına neden olduğu söylenebilir.



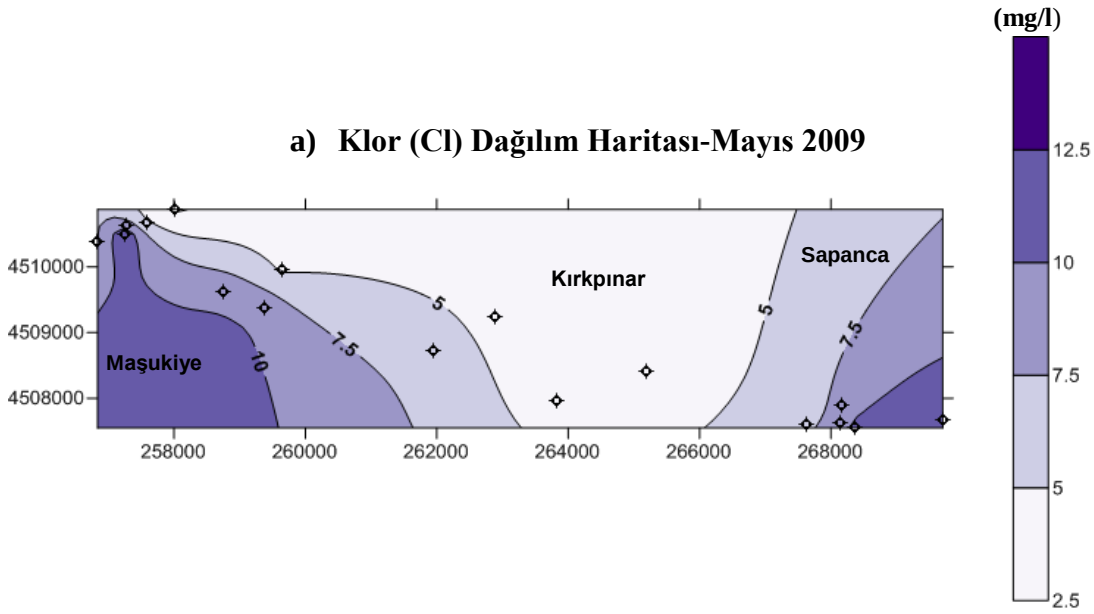


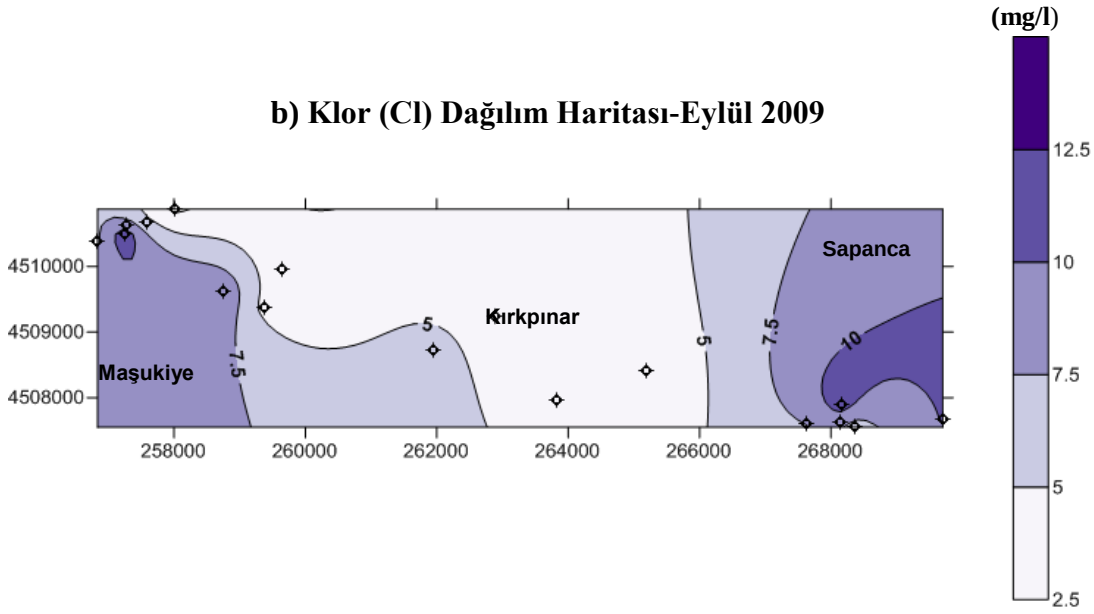
Şekil 3.65. Alüvyal akifere ait yeraltı sularının a) yağışlı (Mayıs 2009) ve b) kurak dönem (Eylül 2009) Ca (mg/l) dağılım haritası



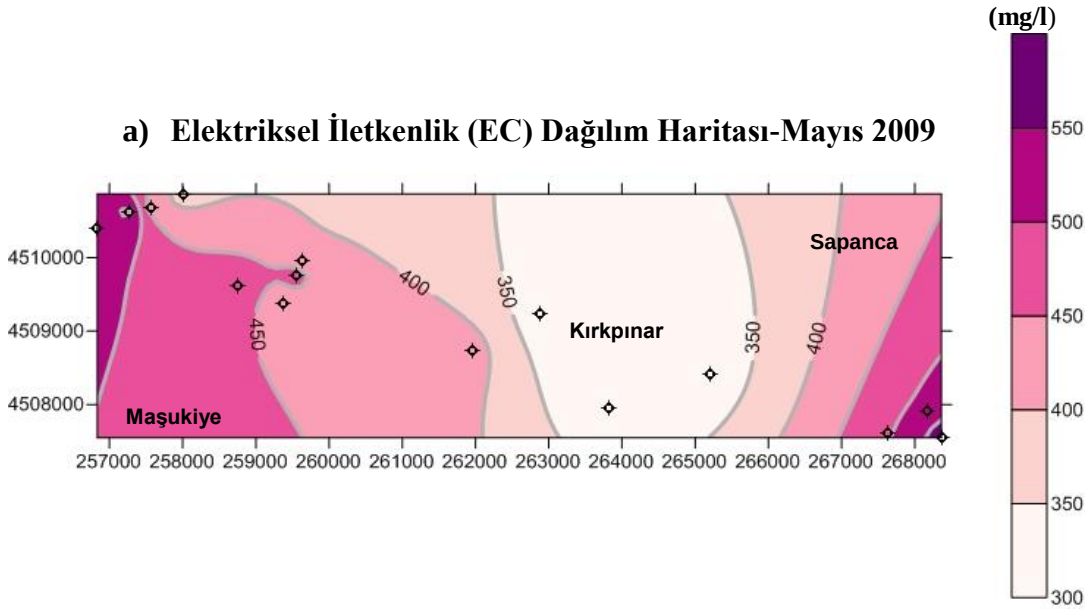


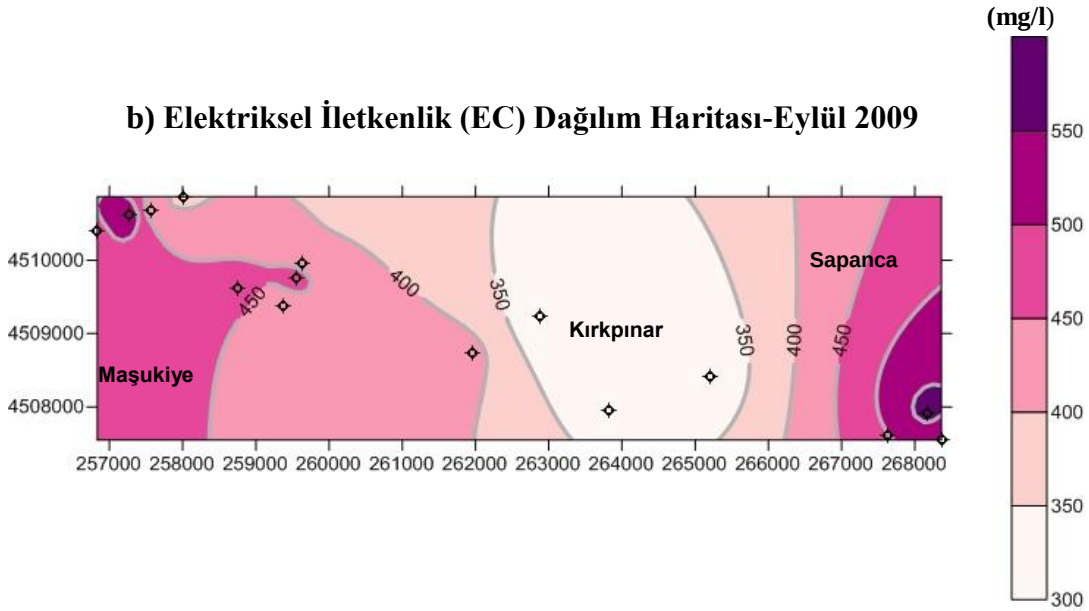
Şekil 3.66. Alüvyal akifere ait yeraltı sularının a) yağışlı (Mayıs 2009) ve b) kurak dönem (Eylül 2009) Mg (mg/l) dağılım haritası



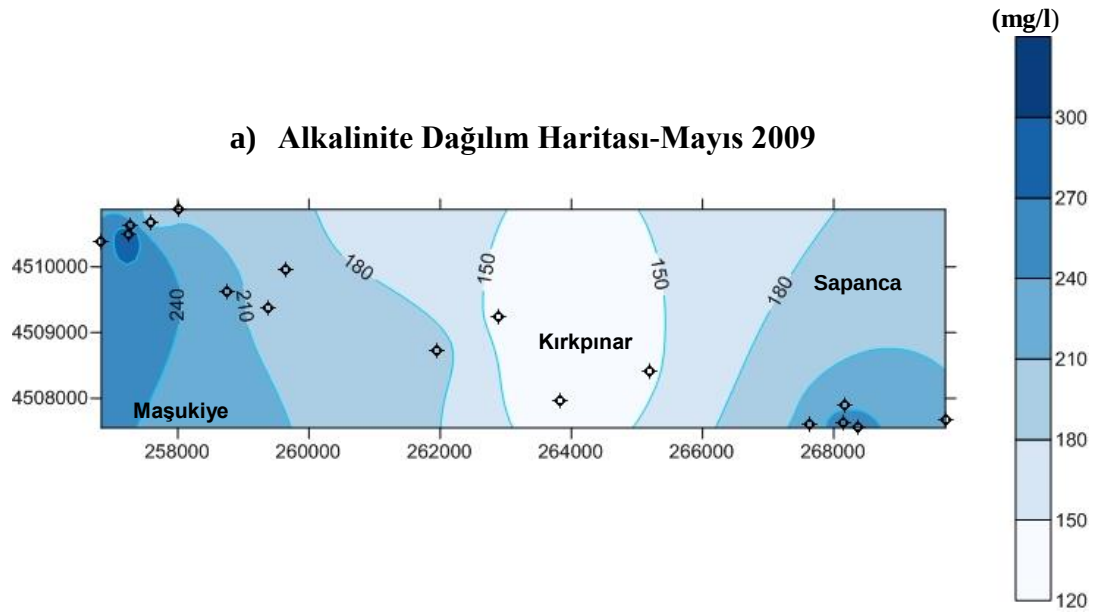


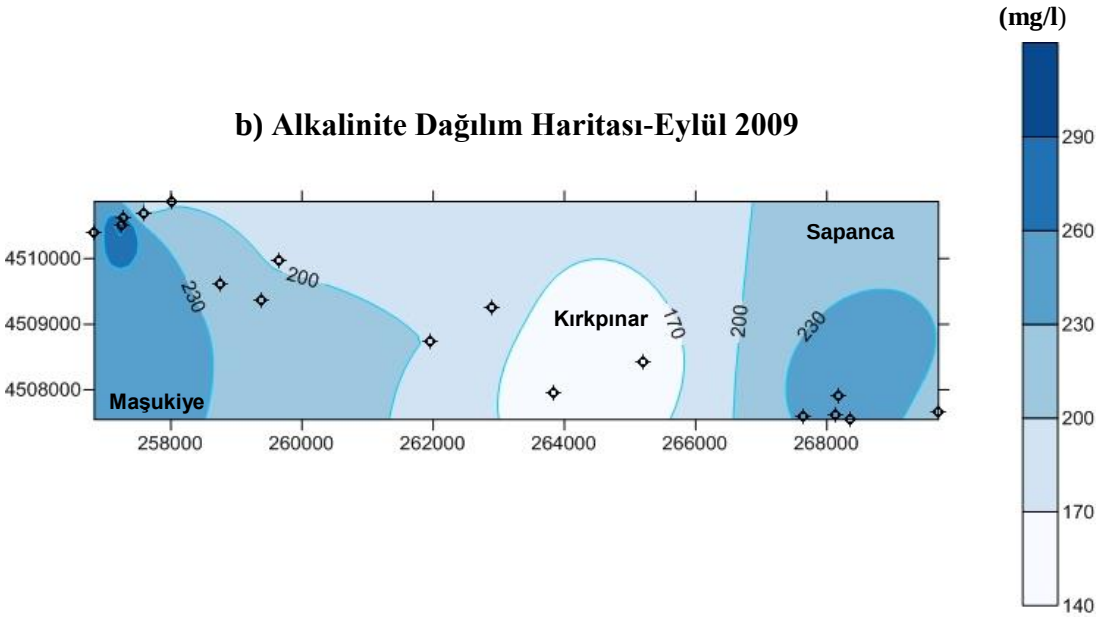
Şekil 3.67. Alüvyal akifere ait yeraltı sularının a) yağışlı (Mayıs 2009) ve b) kurak dönem (Eylül 2009) Cl (mg/l) dağılım haritası





Şekil 3.68. Alüvyal akifere ait yeraltı sularının a) yağışlı (Mayıs 2009) ve b) kurak dönem (Eylül 2009) EC (µS/cm) dağılım haritası





Şekil 3.69. Alüvyal akifere ait yeraltı sularının a) yağışlı (Mayıs 2009) ve b) kurak dönem (Eylül 2009) Alkalinite (mg/l) dağılım haritası

Alüvyal akifer sistemindeki yeraltı sularının kalitesi İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği'ne (2013) göre değerlendirildiğinde incelenen parametrelerin çoğu limit değerin altında kalmıştır (Tablo 3.17). Kuyuların çoğunda İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği'nde belirtilen kimyasal parametreler açısından bir kirlenme mevcut değildir. Noktasal olarak bazı kuyularda sınır değerlerin üzerinde seyreden parametreler ise NO^{-}_{3}, Fe ve As'tir (Ek-7).

Yeraltı sularında nitrat derişimi, tarımsal faaliyetler ve evsel atıkların toprağa oradan da yeraltı sularına karışmasıyla artmaktadır. Azot gübrelemenin sonucu olarak tarım alanlarındaki yeraltı sularının NO^{-}_{3} konsantrasyonu yüksek düzeylere ulaşmaktadır. Sularda 5-10 mg/l'nin üzerinde nitratın bulunması bu suyun dışarıdan kirletildiğini göstermektedir (Uslu ve Türkman, 1987; McNeely vd.,, 1979; WHO, 1984; Bouchard vd., 1992; Aiuppa vd., 2003).

Kuyularda ölçülen Mayıs-Eylül 2009 ve Nisan 2010 dönemine ait ortalama nitrat konsantrasyon değerleri sırasıyla 7,20±4,95 mg/l, 8,18±5,4 mg/l ve 7,15±5,02 mg/l'dir. Kuyularda ölçülen 3 dönem ortalama nitrat konsantrasyonu ise 7,70±5,12 mg/l'dır. Ortalama nitrat değerlerinin 10 mg/l ve üzerinde olduğu kuyular; Maşukiye bölgesindeki SK-4 (10,29 mg/l), SK-5 (11,29 mg/l), SK-7 (18,50 mg/l), SK-8 (12,50 mg/l) kuyuları ile Sapanca bölgesindeki SK-21 (10,70 mg/l) ve SK-23 (14,98 mg/l) kuyularıdır (EK-7). Kuyu sularındaki nitrat değerleri içme suları için müsaade edilen limitlerin altında olsalar da, analiz sonuçları yeraltı sularının bu bölgelerdeki tarımsal faaliyetlerden kısmen kirlendiğini göstermektedir.

Nitrit (<0,05 mg/l), Toplam P (<0,02 mg/l) ve NH_4-N (<0,04 mg/l) konsantrasyonları, analizleri tamamlanan kuyu sularının çoğunda deteksiyon limitlerin altındadır. Amonyak azot değerinin ölçülebildiği tek kuyu (ort=0,48 mg/l), Maşukiye bölgesinde kurutulmuş bataklık yatağı içerisinde açılmış SK-11 numaralı kuyudur (Ek-7).

Tablo 3.17. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği'nde (2013) belirtilen ve çalışma kapsamında değerlendirilen bazı parametrelerin sınır değerleri

Parametre	**Sınır Değerler**
Bulanıklık	1
Koliform Bakteri	0/100 ml
E-Koli	0/100 ml
Enterekok	0/100 ml
Koloni (37° 48 saat)	20/ ml
Toplam Trihalometanlar (µg/l)	100
Bromat (µg/l)	10
Alüminyum (µg/l)	200
Amonyum (mg/l)	0,5
Antimon (µg/l)	5
Arsenik (µg/l)	10
Bakır (µg/l)	2000
Baryum (mg/l)	-
Berilyum (µg/l)	-
Bor (mg/l)	1,0
Çinko (mg/l)	-
Cıva (µg/l)	1
Demir (µg/l)	200
Florür (mg/l)	1,5
Gümüş (µg/l)	-
Kadmiyum (µg/l)	5
Klorür (mg/l)	250
Krom (µg/l)	50
Kurşun (µg/l)	10
Mangan (µg/l)	50
Nikel (µg/l)	20
Nitrat (mg/l)	50
Nitrit (mg/l)	0,5
Selenyum (µg/l)	10
Siyanür (µg/l)	50
Sülfat (mg/l)	250
Talyum (µg/l)	-
Renk	20
pH	6,5-9,5
Kalsiyum (mg/l)	-
Magnezyum (mg/l)	-
Potasyum (mg/l)	-
Sodyum (mg/l)	200
Serbest Klor (mg/l)	-
Fosfat (mg/l)	-
Toplam Çözünmüş Madde (mg/l)	-
İletkenlik (µS/cm)	2500
Alkalinite (mg/l $CaCO_3$)	-
Sertlik (mg/l $CaCO_3$)	-

Atmosferle iletişimi olmayan sular bakteriyel aktiviteyle veya ferro bileşiklerle reaksiyona girerek çözünmüş oksijenlerini kaybederler. Anaerobik koşullar altında çözünmüş demirin en bol bulunan yapısı Fe^{2+}'dir. Bazı sedimanter akiferlerde farklı derinliklerde bulunan farklı redoks potansiyeline sahip karışım suları ya doğal olarak ya da yeraltı suyunda demir minerallerinin çözünmesi veya çökelmesi sebebiyle Fe içermektedir (Hem, 1992).

Ovadaki kuyularda ölçülen ortalama demir konsantrasyonları Mayıs ayı için 0,23±0,15 mg/l iken Eylül 2009 ve Nisan 2010 ayları için deteksiyon limitlerinin (<1µg/l) altında çıkmıştır. Kuyularda ölçülen 3 dönem ortalama demir konsantrasyonu ise 0,07±0,8 mg/l'dır. Yüksek demir konsantrasyonları ile ön plana çıkan kuyular Maşukiye bölgesindeki SK-7 (0,55 mg/l) ve SK-8 (0,54 mg/l), Sapanca bölgesindeki SK-19 (0,37 mg/l), SK-21 (0,42 mg/l) kuyularıdır (EK-7). Bu kuyu sularındaki demir konsantrasyonları içme suları için belirtilen limit değerinin üzerindedir (0,2 mg/l, İTASY 2013). İncelenen kuyu sularının genelinde demir değerleri, bölgede yaygın olarak yapılan yavru alabalık yetiştiriciliği için sularda müsaade edilen demir limit değerlerine (0,1 mg/l) ya çok yakın ya da üzerindedir. Bölgede noktasal olarak limit değerin üzerinde çıkan demir konsantrasyonları jeojenik kökenli olmakla, muhtemelen metamorfik kayaç topluluğu içinde yer alan şiştleri işaret etmektedir.

Arsenik doğada hem doğal hem antropojenik kaynaklı olarak bulunabilmektedir (Wang ve Mulligan, 2006). Doğal sularda arsenik oluşumu akiferin jeolojik, hidrojeolojik ve jeokimyasal özelliklerine bağlıdır. Doğada arseniğin en önemli kaynağı sülfür mineralleridir (Matschullat, 2000; Bissen ve Frimmel, 2003). Sülfür mineralleri dışında arseniğin diğer bir önemli kaynağı ise arsenik içeren demir oksitlerdir (Jain v.d., 1999; Sadiq v.d., 2002). Arsenik oluşumuna neden olan en önemli insan aktiviteleri arasında zararlı bitki ve böcekleri yok eden tarım ilaçlarının kullanımı ve madencilik faaliyetleri gelmektedir (Mandal ve Suzuki 2002; Moore, 2005). Arsenik içeren pestisitlerin kullanımı arseniğin noktasal olmayan antropojenik kaynakları arasında yer almaktadır. Arsenik doğada kolay bir şekilde oksidasyon basamağı ve kimyasal formunu değiştirir. Arseniğin değerliğini ve türünü suyun pH değeri, redoks potansiyeli, sülfür, demir ve kalsiyum gibi iyonların varlığı ve mikrobiyal aktivite etkilemektedir (EPA, 2002).

Sapanca Ovası'nda Maşukiye bölgesinde As açısından limit değerin üzerinde noktasal olarak 2 lokasyon belirlenmiştir. Bu iki lokasyon Maşukiye bölgesindeki göle yakın kil içeriği yüksek alüvyon birimler içinde açılmış kuyulardır. Bu iki lokasyon için limit değerin üzerinde belirlenen arseniğin kökeni muhtemelen jeojeniktir. Göksu Sitesi içinde eski bataklık yatağında açılmış olan SK-11 numaralı kuyudan Şubat ve Haziran (2010) aylarında alınan yeraltı suyunda sırasıyla As değeri 35,40 µg/l ile 39,10 µg/l olarak belirlenmiştir. Bu değerler belirlenen limit değerlerin (10 µg/l) yaklaşık 4 kat üzerindedir. Ayrıca Maşukiye'de meyve bahçelerinin içinde sulama amaçlı açılmış SK-3 numaralı kuyuda da As değeri 20,90 µg/l ile limit değerlerin 2 kat üzerinde çıkmıştır (EK-7).

3.6.2.1. Sulama suyu kalitesi

Sapanca Ovası üzerinde özellikle Maşukiye ve Yanık bölgelerinde yoğun olarak tarım faaliyetleri yapılmaktadır. Özellikle meyve (kiraz, kivi, armut, elma, ayva vb.) yetiştiriciliği yapılan bu alanlarda bol sulama ve ilaçlama yapılmaktadır. Bu nedenle ovadaki suların sulama suyu kalitesi açısından uygunluğu değerlendirilmiştir.

Sapanca Ovası'nda ki yeraltı sularının sulama suyu olarak uygunluğunu belirlemek amacıyla suların %Na, SAR (Sodyum Adsorpsiyon Oranı) ve EC değerleri dikkate alınmıştır (Tablo 3.18).

Sapanca Ovası'nda ki suların SAR değerleri yağışlı ve kurak dönem için sırasıyla 0,13-0,23 meq/ ile 0,15-0,87 meq/l arasında değişmektedir. %Na değerleri ise yağışlı ve kurak dönem için sırasıyla %3,53-%9,49 ile %5,05-%30 arasında değişmektedir (Tablo 3.18). Wilcox (1995), sulama suyu sınıflamasında, % Na değerinin %20'nin altında kalmaları durumunda çok iyi, %20 ile %40 arasında olmaları durumunda ise iyi olarak kabul etmiştir. EC değerleri için ise 250 µS/cm'nin altındaki değerleri çok iyi, 250-750 µS/cm arasındaki değerleri ise iyi olarak değerlendirmiştir. Sapanca Ovası'ndaki sular Wilcox sınıflaması %Na değerlerine göre çok iyi sular sınıfına girerken EC değerlerine göre iyi su sınıfına girmektedir.

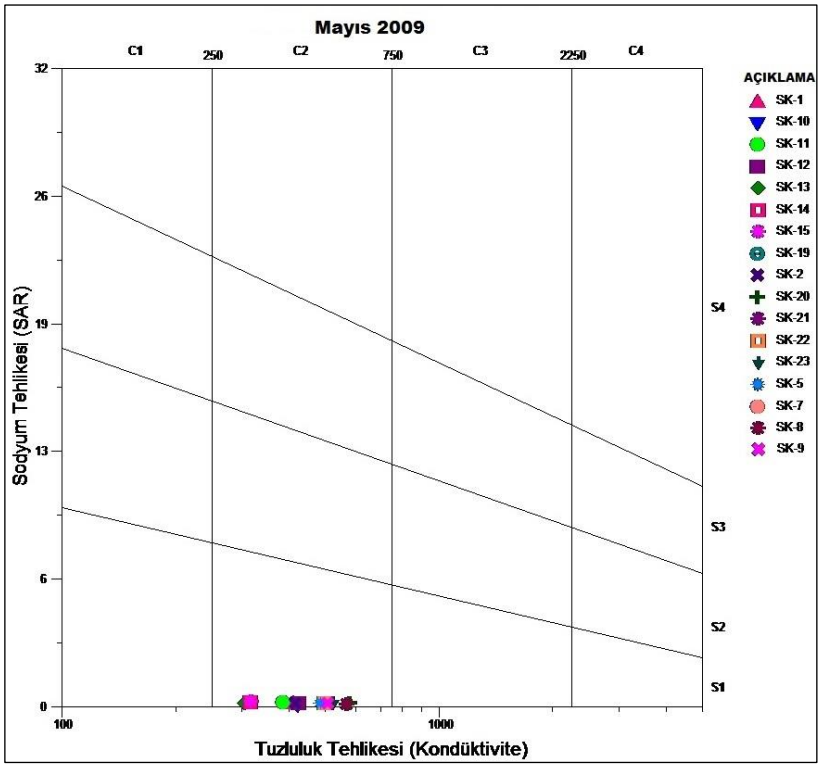
Sapanca Havzası alüvyal akiferi yeraltı sularının sulama suyu açısından sınıflandırılması için yağışlı ve kurak dönem kuyu örnekleri için ABD tuzluluk diyagramı oluşturulmuştur (Şekil 3.70, Şekil 3.71). Sulama suyu sınıfı suyun sodiklik

ve tuzluluk açısından tehlikesini belirlemektedir. Diyagrama göre sulama suyu için önemli olan tuzluluk ve sodyum değerlerine göre sınıflara ayırmaktır. 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).

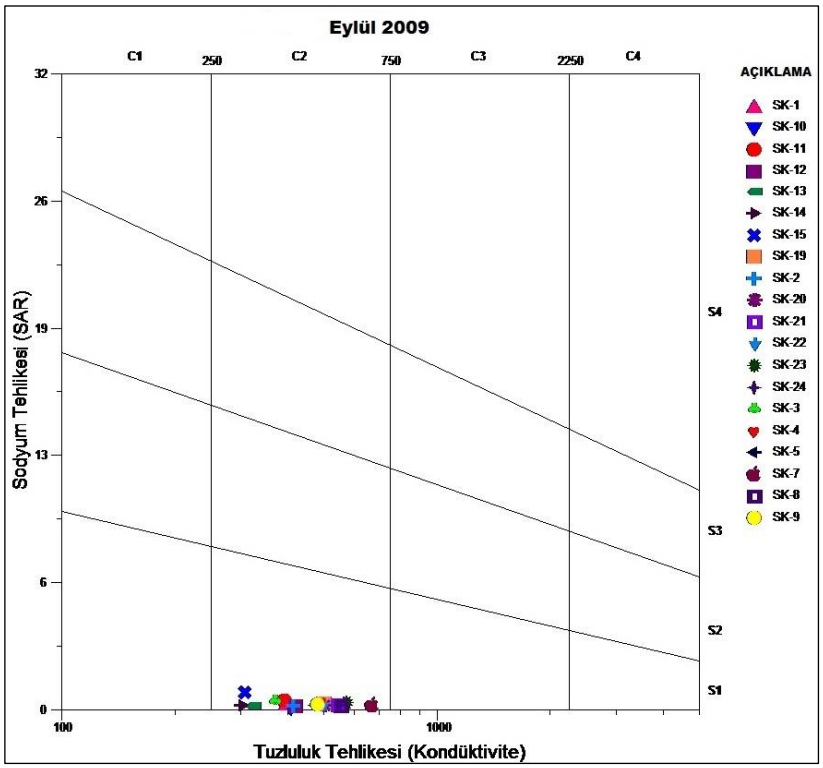
Sapanca Gölü'nün güneyinde bulunan alüvyal akifer sistemindeki yeraltı suları yağışlı ve kurak dönem için her türlü sulamada kullanılabilen C_2S_1 su sınıfına girmektedir.

Tablo 3.18. Sapanca Ovası'nda alüvyal akifer sisteminde açılan kuyulara ait suların elektriksel iletkenlik, SAR ve %Na değerleri

Kuyu No	Kuyu Yeri	X	Y	KOT (m)	Kuyu Derinlik (m)	Mayıs 2009			Eylül 2009		
						Elektriksel İletkenlik (EC) µS/cm	SAR (meq/l)	%Na	Elketriksel İletkenlik (EC) µS/cm	SAR (meq/l)	%Na
SK-1	Maşukiye	259376	4509373	40	66	412	0,19	7,02	398	0,31	11,31
SK-2	Maşukiye	259643	4509962	35	40	421	0,17	6,15	414	0,18	6,08
SK-3	Maşukiye	259714	4509267	58	55	-	-	-	372	0,43	15,62
SK-5	Maşukiye	258750	4509613	43	80	489	0,17	5,8	474	0,21	7,77
SK-7	Maşukiye	257252	4510504	45	74	689	0,15	4,04	670	0,19	5,43
SK-8	Maşukiye	257277	4510623	32	70	582	0,13	3,53	554	0,15	4,68
SK-9	Maşukiye	256835	4510393	50	64	505	0,17	5,33	479	0,23	7,69
SK-10	Maşukiye	257579	4510685	45	-	435	0,14	4,92	410	0,13	5,05
SK-11	Maşukiye	258003	4510873	31	60	426	0,21	7,79	391	0,42	14,86
SK-12	Yanık	261954	4508734	60	100	429	0,15	5,53	420	0,15	5,51
SK-13	Kurtköy	263831	4507959	82	60	292	0,18	8,23	323	0,16	6,93
SK-14	Kurtköy	262887	4509244	37	70	313	0,22	9,65	302	0,19	7,29
SK-15	Kırkpınar	265200	4508415	60	-	318	0,23	9,49	307	0,87	29,99
SK-19	Sapanca	269702	4507659	33	58	505	0,16	4,69	499	0,29	9,03
SK-20	Sapanca	268363	4507547	55	52	553	0,17	5,15	498	0,21	6,67
SK-21	Sapanca	268138	4507626	60	84	566	0,16	4,75	543	0,21	6,76
SK-22	Sapanca	267628	4507601	68	-	527	0,17	5,64	497	0,22	7,17
SK-23	Sapanca	268168	4507903	65	80	574	0,17	5,6	573	0,33	9,21
SK-24	Sapanca	268184	4507624	51	66	-	-	-	549	0,22	6,54



Şekil 3.70. ABD tuzluluk diyagramına göre alüvyal akiferdeki yeraltı sularının sınıflandırılması (Mayıs 2009)



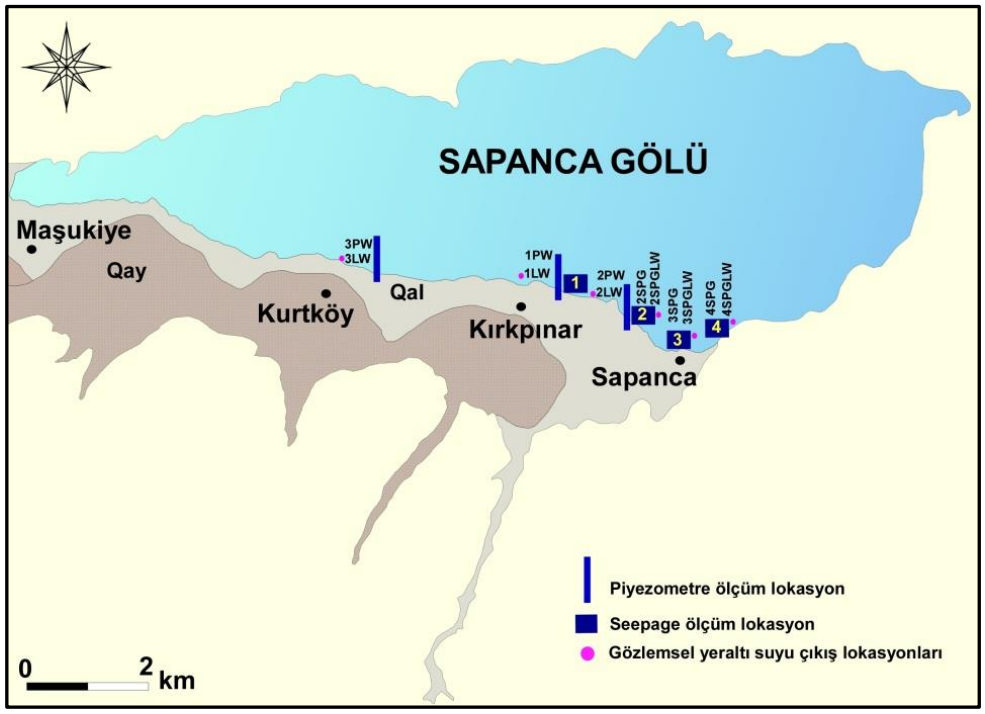
Şekil 3.71. ABD tuzluluk diyagramına göre alüvyal akiferdeki yeraltı sularının sınıflandırılması (Eylül 2009)

3.6.3. Göl ve göl taban (gözenek) suyu kimyası

Sapanca Gölü'nü yeraltından besleyen iki sistem mevcuttur. Bunlar, gölü kırık hatları ve karstik boşluklar ile tabandan besleyen derin karstik dolaşımlı sistem ile alüvyondan besleyen sistemdir.

Seepage (sızıntı) metreler ile alüvyondan göle olan boşalım miktarı hidrojeoloji kısmında detaylı olarak ele alınmıştır. Bu bölümde Şubat-Haziran (2014) ayları arasında göl tabanından alınan gözenek suyu kimyası irdelenmiştir. Böylelikle havzanın güneyinde ki akifer sistemleri ile göl arasındaki hidrojeokimyasal ilişkinin ortaya konması amaçlanmıştır.

Sapanca Gölü'nün güney kıyı hattı üzerine yerleştirilen seepage metrelerden ve piyezometreler aracılığıyla göl tabanından alınan sızıntı ve gözenek sularına ait fiziksel ve kimyasal parametreler sunulmuştur (Tablo 3.19). Seepage metrelerden ve piyezometrelerden alınan gözenek suyu örneklemesi sırasında aynı lokasyonlardan göl suyu örneklemesi yapılarak bir karışım olup olmadığı ayrıca kontrol edilmiştir (Şekil 3.72).



Şekil 3.72. Sapanca Gölü'nden ve göl tabanından alınan gözenek ve sızıntı suyu örneklerinin lokasyon haritası

Tablo 3.19. Sapanca Gölü'nden ve göl taban (sızıntı) suyundan alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçları

Numune No	Örnekleme Tarihi	Lokasyon	Örnekleme Türü	X	Y	Kot (m)	Kıyıdan Mesafe (m)	Piyezometre Prop Derinliği Tabandan (m)	Su Derinliği (m)	T°C	pH	Elektriksel İletkenlik (µS/cm)	Alkalinite (mg/l $CaCO_3$)	TDS (mg/l)
1PW	18.03.2014	İstanbul-Mahmudiye Dere	Gözenek suyu-piyezometre	268826	4509021	32	2,0	1,15	0,27	11,2	7,15	840	355	525
2PW	10.04.2014	Keçi-İstanbul Dere	Gözenek suyu-piyezometre	269572	4508368	34	2,8	1,05	0,35	15,6	6,72	1006	280	790
3PW	19.03.2014	Mahmudiye-Kurtköy	Gözenek suyu-piyezometre	264826	4509572	33	2,5	1,1	0,30	14,7	7,34	464	216	406
1LW	18.03.2014	İstanbul-Mahmudiye Dere	Göl suyu (piyezometre kontrol)	268826	4509021	32	-	-	-	13,2	8,14	292	130	240
2LW	10.04.2014	Keçi-İstanbul Dere	Göl suyu (piyezometre kontrol)	269572	4508368	34	-	-	-	15,9	8,12	268	110	217
3LW	19.03.2014	Mahmudiye-Kurtköy	Göl suyu (piyezometre kontrol)	264826	4509572	33	-	-	-	15,2	7,90	306	118	227
2SPG	07.05.2014	Keçi-İstanbul Dere	Gözenek suyu-seepage	269572	4508368	34	2,5	-	0,40	16,8	6,65	812	353	582
3SPG	07.05.2014	Keçi-Sarp Dere	Gözenek suyu-seepage	269932	4508274	30	2,5	-	0,40	17,0	6,59	343	146	281
4SPG	07.05.2014	Keçi-Sarp Dere	Gözenek suyu-seepage	270150	4508289	32	2,0	-	0,35	16,4	6,76	587	288	490
2SPGLW	07.05.2014	Keçi-İstanbul Dere	Göl suyu (seepage kontrol)	269572	4508368	34	-	-	-	17,2	8,02	269	108	217
3SPGLW	07.05.2014	Keçi-Sarp Dere	Göl suyu (seepage kontrol)	269932	4508274	30	-	-	-	17,4	7,95	268	106	211
4SPGLW	07.05.2014	Keçi-Sarp Dere	Göl suyu (seepage kontrol)	270150	4508289	32	-	-	-	17,1	7,10	280	112	223

Tablo 3.19. (Devam) Sapanca Gölü'nden ve göl taban (sızıntı) suyundan alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçları

Numune No	Örnekleme Tarihi	Lokasyon	Örnekleme Türü	X	Y	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	SO_4^{-2}	HCO_3^{-}	NO_3^{-}	NO_2^{-}	PO_4^{-3}
						mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1PW	18.03.2014	İstanbul-Mahmudiye Dere	Gözenek suyu-piyezometre	268826	4509021	43,9	8,4	8,2	1,6	10,6	18	433,1	0,9	<0,5	<0,5
2PW	10.04.2014	Keçi-İstanbul Dere	Gözenek suyu-piyezometre	269572	4508368	135,2	23,2	16,8	3,4	17,1	251,7	341,6	0,6	<0,5	<0,5
3PW	19.03.2014	Mahmudiye-Kurtköy	Gözenek suyu-piyezometre	264826	4509572	105,8	18,2	10,2	2,3	3,6	2,0	263,5	0,6	<0,5	<0,5
1LW	18.03.2014	İstanbul-Mahmudiye Dere	Göl suyu (piyezometre kontrol)	268826	4509021	35,0	7,6	7,9	1,5	9,1	19,4	158,6	0,8	<0,5	<0,5
2LW	10.04.2014	Keçi-İstanbul Dere	Göl suyu (piyezometre kontrol)	269572	4508368	35,8	7,8	8,0	1,5	8,9	20,3	134,2	0,6	<0,5	<0,5
3LW	19.03.2014	Mahmudiye-Kurtköy	Göl suyu (piyezometre kontrol)	264826	4509572	38,0	7,9	8,0	1,8	8,8	17,6	144	0,8	<0,5	<0,5
2SPG	07.05.2014	Keçi-İstanbul Dere	Sızıntı suyu-seepage	269572	4508368	102,1	11,2	10,3	8,4	10,9	<0,5	430,7	5,8	1,1	<0,5
3SPG	07.05.2014	Keçi-Sarp Dere	Sızıntı suyu-seepage	269932	4508274	49,9	10,9	8,9	1,6	10,9	17,8	178,1	3,3	<0,5	<0,5
4SPG	07.05.2014	Keçi-Sarp Dere	Sızıntı suyu-seepage	270150	4508289	79,6	16,8	11	3,2	13,5	1.6	351,4	5	0,7	7,07
2SPGLW	07.05.2014	Keçi-İstanbul Dere	Göl suyu (seepage kontrol)	269572	4508368	39,1	7,9	8,6	1,4	9,0	18	131,8	0,8	<0,5	<0,5
3SPGLW	07.05.2014	Keçi-Sarp Dere	Göl suyu (seepage kontrol)	269932	4508274	37,7	7,7	8,1	1,4	9,0	17	129,3	0,9	<0,5	<0,5
4SPGLW	07.05.2014	Keçi-Sarp Dere	Göl suyu (seepage kontrol)	270150	4508289	38.6	9,0	8.8	1.6	9,3	17,3	136,6	0,9	<0,5	<0,5

Tablo 3.19. (Devam) Sapanca Gölü'nden ve göl taban (sızıntı) suyundan alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçları

Numune No	Örnekleme Tarihi	Lokasyon	Örnekleme Türü	X	Y	Kot (m)	F	Br	Mn	Fe	As	Al	Sn	Co	Ni	Cu	Zn	Li	Be	B	Ti	V	Cr	Se	Rb	Sr	Mo	Ag	Cd	Sb	Ba	Hg	Tl	Pb	U
							mg/l	mg/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
1PW	18.03.2014	İstanbul-Mahmudiye Dere	Gözenek suyu-piyezometre	268826	4509021	32	n.a.	n.a.	68	<10	0,3	<0,1	0,03	0,05	2,0	8,0	13,6	0,91	0,008	-	1,3	0,08	9,0	0,7	0,5	158	0,2	0,10	<0,01	0,08	12	<0,1	<0,001	0,64	0,5
2PW	10.04.2014	Keçi-İstanbul Dere	Gözenek suyu-piyezometre	269572	4508368	34	n.a.	n.a.	559	28104	195	<0,1	2,58	0,12	5,5	0,9	5,4	0,11	<0,001	-	5,0	0,11	3,9	0,6	1,2	519	0,4	0,02	<0,01	0,06	130	<0,1	<0,001	0,02	0,2
3PW	19.03.2014	Mahmudiye-Kurtköy	Gözenek suyu-piyezometre	264826	4509572	33	0,05	n.a.	851	<10	4,3	<0,1	2,25	0,27	4,7	2,1	4,3	1,70	<0,001	-	1,2	0,09	23,7	<0,01	0,3	348	0,3	0,21	<0,01	0,01	23	<0,1	<0,001	0,10	0,2
1LW	18.03.2014	İstanbul-Mahmudiye Dere	Göl suyu (piyezometre kontrol)	268826	4509021	32	0,08	n.a.	13	<10	4,3	<0,1	0,10	<0,01	1,5	2,3	2,9	0,53	<0,001	-	1,2	0,04	1,7	<0,01	0,5	144	0,2	0,08	<0,01	0,09	11	<0,1	<0,001	0,86	0,5
2LW	10.04.2014	Keçi-İstanbul Dere	Göl suyu (piyezometre kontrol)	269572	4508368	34	0,13	n.a.	13	<10	4,0	<0,1	0,11	0,09	1,5	2,5	3,5	0,23	0,008	-	1,2	<0,01	1,4	<0,01	0,5	145	0,2	0,02	<0,01	0,09	11	<0,1	<0,001	0,85	0,4
3LW	19.03.2014	Mahmudiye-Kurtköy	Göl suyu (piyezometre kontrol)	264826	4509572	33	0,09	n.a.	25	<10	2,7	<0,1	<0,01	<0,01	1,6	1,8	9,9	0,38	0,034	-	1,3	0,15	8,3	0,2	0,5	150	0,2	0,01	<0,01	0,21	12	<0,1	<0,001	0,11	0,5
2SPG	07.05.2014	Keçi-İstanbul Dere	Gözenek suyu-seepage	269572	4508368	34	1,5	n.a.	2904	7859	25,7	1,6	52,2	2,29	3,21	<0,1	12,3	2,2	0,005	<10	0,06	<0,1	0,9	0,41	3,5	464	<1	<0,1	0,01	0,05	59	<0,1	<0,001	<0,01	0,01
3SPG	07.05.2014	Keçi-Sarp Dere	Gözenek suyu-seepage	269932	4508274	30	n.a.	n.a.	123,5	<10	1,8	2,8	46,8	0,12	4,03	0,98	197	1,7	0,003	15,4	0,41	0,1	0,5	0,14	0,7	187	<1	<0,1	0,01	0,10	29	<0,1	<0,001	0,04	0,39
4SPG	07.05.2014	Keçi-Sarp Dere	Gözenek suyu-seepage	270150	4508289	32	n.a.	n.a.	3833	56	2,5	1,9	46,3	1,31	3,90	0,43	145	1,9	0,002	36,2	0,13	0,1	0,6	0,29	1,8	332	<1	<0,1	0,02	0,09	96	<0,1	<0,001	0,02	0,10
2SPGLW	07.05.2014	Keçi-İstanbul Dere	Göl suyu (seepage kontrol)	269572	4508368	34	0,1	n.a.	2,08	<10	4,75	4,3	1,88	0,05	1,62	0,41	6,2	1,5	<0,001	18,1	0,36	0,2	0,4	0,10	0,6	149	<1	<0,1	0,02	0,11	20,8	<0,1	<0,001	0,12	0,47
3SPGLW	07.05.2014	Keçi-Sarp Dere	Göl suyu (seepage kontrol)	269932	4508274	30	0,1	n.a.	13,4	<10	4,7	3,5	1,81	0,08	1,86	0,54	17,2	1,4	0,004	13,1	0,27	0,5	0,3	0,02	0,5	144	<1	<0,1	0,01	0,11	11	<0,1	<0,001	0,06	0,47
4SPGLW	07.05.2014	Keçi-Sarp Dere	Göl suyu (seepage kontrol)	270150	4508289	32	1,1	n.a.	16,1	<10	5,2	2,9	1,51	0,08	2,20	1,02	7,7	1,6	0,001	23,9	0,28	0,3	0,4	0,03	0,6	161	<1	<0,1	0,02	0,10	21	<0,1	0,002	0,04	0,47

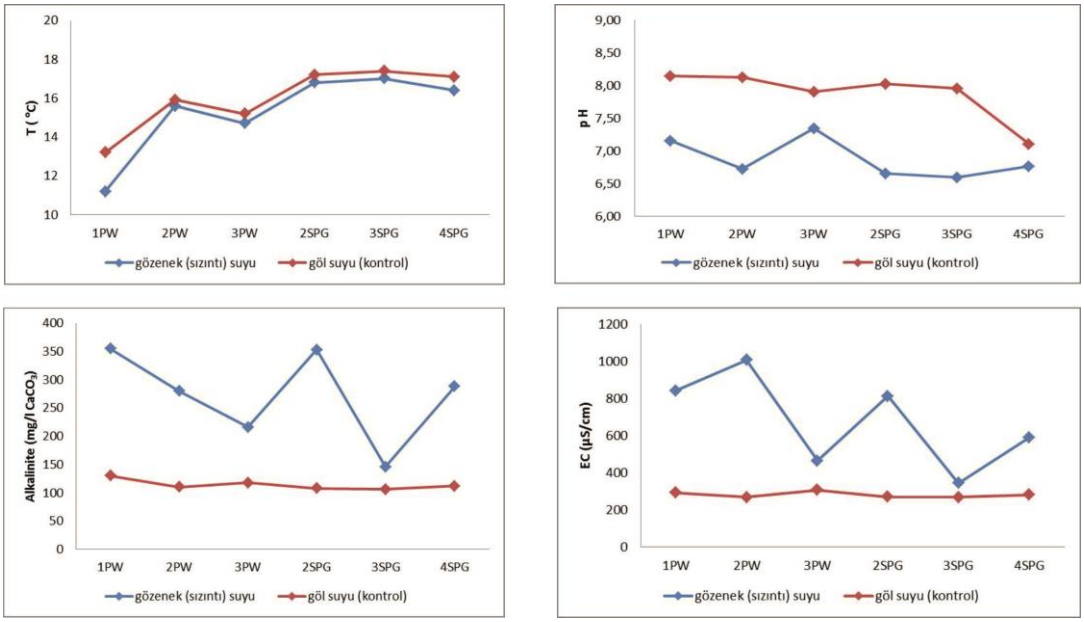
Göl taban suyundan piyezometreler ve seepage metreler ile alınan gözenek ve sızıntı suyu numuneleri ile her bir örnekleme noktasındaki lokasyondan alınan göl suyu örneklerinin fiziksel parametreler açısından karşılaştırmalı grafikleri Şekil 3.73'de sunulmuştur. Göl suyu ile göl tabanından alınan gözenek ve sızıntı sularının fiziksel ve kimyasal parametreler açısından farklılık gösterdiği açıkça gözükmektedir (Şekil 3.73).

Göl tabanından alınan gözenek ve sızıntı suyu ile göl suyu sıcaklıkları birbirine yakın olup, sıcaklık ortalamaları sırasıyla 15,2±2,1°C ile 16±1,6'dır. Göl tabanından alınan gözenek suyu örneklerinin pH ortalaması 6,86±0,3 ile nötr-alkali, göl suyunun pH ortalaması ise 7,87±0,4 ile alkali bir karakter sergilemektedir (Şekil 3.73).

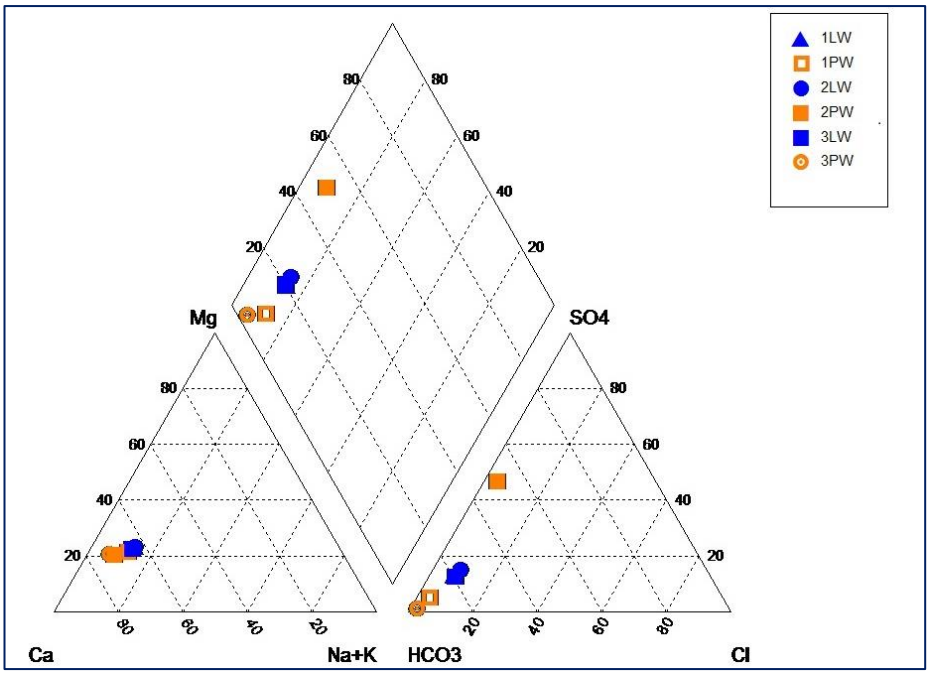
Gözenek ve sızıntı suyu ile göl suyu örneklerinde, EC (µS/cm) ve alkalinite değerleri açısından %40'a varan bir farklılık gözlenmektedir (Şekil 3.73). Göl ile gözenek ve sızıntı suyunun elektriksel iletkenlik değerlerinin ortalaması sırasıyla 280±16 µS/cm ile 675±252 µS/cm'dir. Alkalinite değerleri ise göl ile gözenek ve sızıntı suyu için sırasıyla 114±8 mg/l ile 273±81 mg/l'dir.

Göl tabanından alınan gözenek ve sızıntı sularının ortalama elektriksel iletkenlik ile alkalinite değerleri, alüvyal akiferdeki yeraltı sularına göre daha yüksektir (452±101 µS/cm, 215±41 mg/l $CaCO_3$) (Şekil 3.79, Tablo 3.19). Bu durum alüvyonların içindeki kil seviyelerinin alüvyal akifer sisteminden göle doğru hareket eden yeraltı sularının geçiş süresini yavaşlatarak dolaşım süresinin uzamasına ve temas süresini artarak bir miktar daha zenginleşmesine neden olmaktadır.

Göl ve göl tabanından alınan gözenek ve sızıntı sularına ait Piper diyagramı Şekil 3.74'de sunulmuştur. Göl ile gözenek ve sızıntı suları 2PW ($Ca\text{-}HCO_3\text{-}SO_4$) hariç $Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$ su fasiyesindedir. 2PW örneğinin elektriksel iletkenlik değeri (1006 µS/cm) diğer bölgelerden alınan gözenek suyu örneklerine göre oldukça yüksektir.



Şekil 3.73. Sapanca Göl tabanından alınan gözenek (sızıntı) suyu örneklerinin göl suyu ile karşılaştırılması



Şekil 3.74. Sapanca Gölü ve göl tabanından alınan gözenek (sızıntı) sularının Piper diyagramı

Göl tabanından piyezometreler ve seepage metreler ile alınan gözenek ve sızıntı suları mangan, demir ve arsenik açısından limit değerlerin çok üzerindedir (Tablo 3.19). 4 numaralı (4SPG) seepage (sızıntı) metreden alınan numune, mangan değerleri açısından limit değerlerin (50 µg/l) yaklaşık 77 kat üzerindeki bir değer (3833 µg/l) ile en yüksek konsantrasyona sahiptir. 3 (SPG) ve 2 (SPG) numaralı seepage metreden alınan numunelerin Mn değerleri sırasıyla 123,5 µg/l (~2,5 kat) ve 2904 µg/l (~58 kat)'dır. Aynı zamanda 2 numaralı seepage numunesi 7859 µg/l Fe ile 39 kat, 25,7 µg/l As ile 2,7 kat limit değerlerin üzerindedir, Florür (F) değeri (1,5 mg/l) ise tam sınır değerdedir. Ayrıca 2SPG (52,2 µg/l), 3SPG (46,8 µg/l), 4SPG (46,3 µg/l) numaralı seepage metrelerden alınan sızıntı suyu örneklerinde kalay (Sn) konsantrasyonları oldukça yüksektir (Tablo 3.19).

Göl tabanından piyezometreler ile alınan 1PW, 3PW gözenek suyu numuneleri Mn, 2PW numunesi ise Mn, Fe ve As açısından limit değerlerin üzerindedir. 1PW, 2PW, 3PW numunelerinin Mn değerleri sırasıyla 68 µg/l (~1,3 kat), 559 µg/l (~11 kat), 851 µg/l (~17 kat)'dır. Ayrıca 2PW numunesinin Fe değeri 28104 µg/l (~141 kat), As değeri ise 195 µg/l (~20 kat)'tır (Tablo 3.19).

Gözenek ve sızıntı sularının kimyası, alüvyal akifer sistemindeki yeraltı suları ile karşılaştırıldığında majör anyan-katyon ve bazı metaller (Fe, As, Mn, Sn) açısından oldukça yüksek konsantrasyonlara sahiptir. Bunun nedeni, alüvyal akiferden göle doğru alüvyon birimler içindeki ince taneli birimlere geçiş ile kil seviyelerinin artması ve bu ortamda gelişen oksidasyon zonları ile permeabilitesi düşük zonlar boyunca yeraltı suyu hızının azalması su-kayaç arasındaki etkileşimin artmasına ve sonuç olarak gözenek ile sızıntı sularının bazı elementler açısından zenginleşmesine sebep olmaktadır.

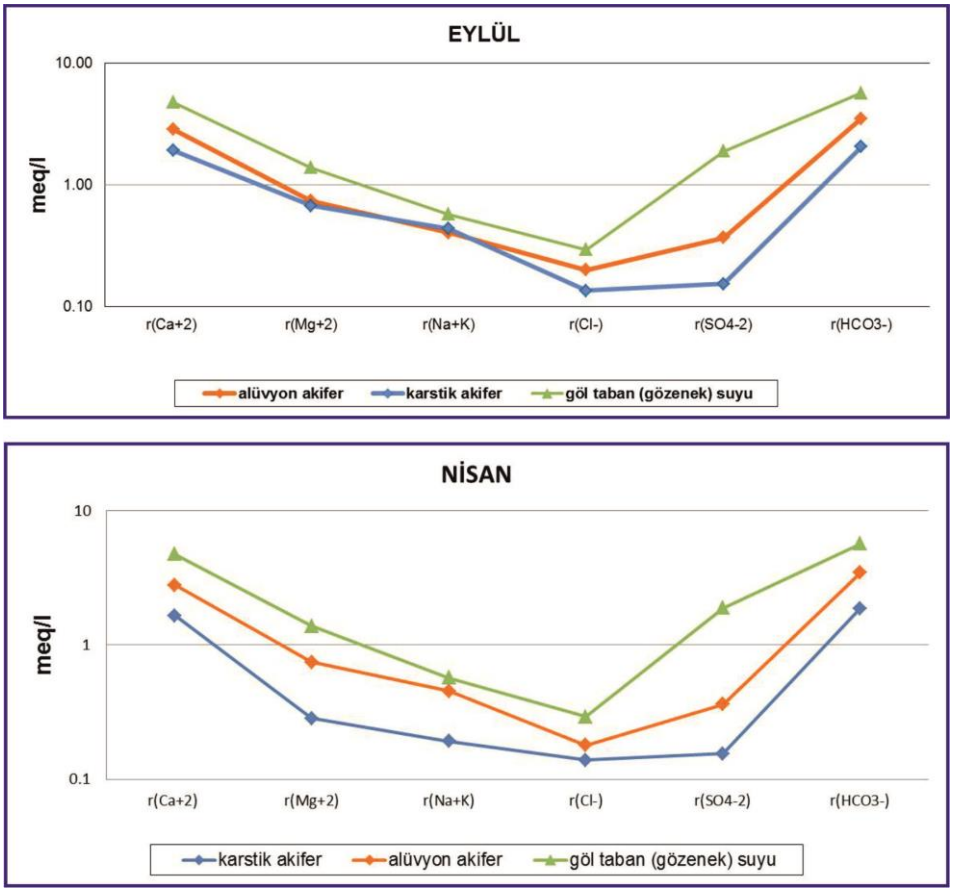
3.6.4. Akifer sistemleri ile göl arasındaki hidrojeokimyasal ilişki

Sapanca Havzası'nın güneyinde bulunan akifer sistemleri ile göl arasındaki ilişkinin hidrojeokimyasal olarak ortaya konması amacıyla Schoeller ve Piper diyagramları oluşturulmuştur (Şekil 3.75, Şekil 3.76).

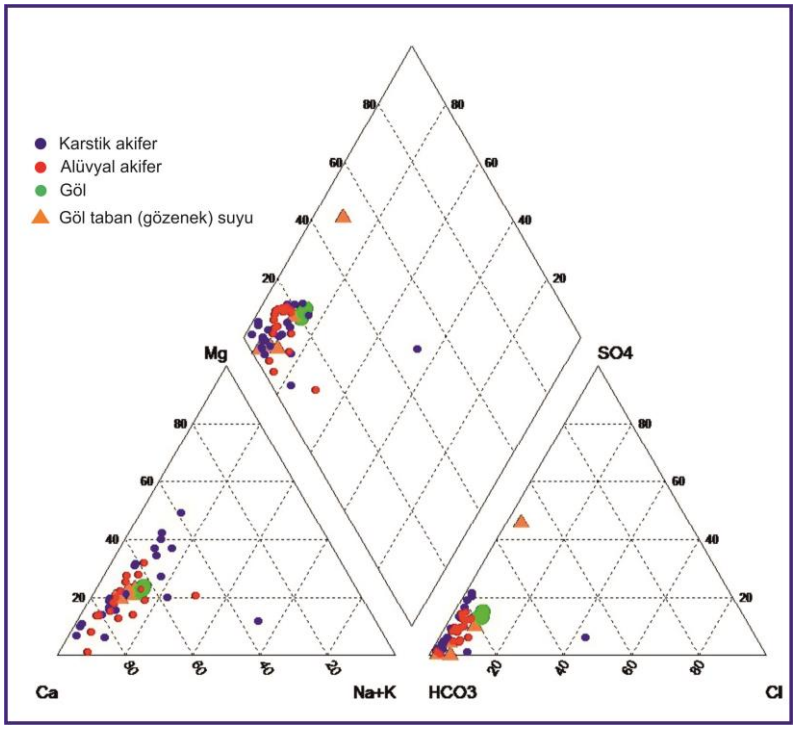
Yağışlı ve kurak dönem için Schoeller diyagramları incelendiğinde akifer sistemleri ve göle ait majör iyonlar birbirine paralellik göstermektedir. Ayrıca karstik akiferden, alüvyal akifer ve göle doğru yeraltı sularının, dolaşım süresinin uzunluğuna bağlı olarak su-kayaç etkileşiminin artmasıyla, majör anyon ve katyon açısından zenginleştiği açıkça gözükmektedir (Şekil 3.75).

Karst akifer ve alüvyal akifer sistemindeki yeraltı suları ve göl ile göl tabanından alınan gözenek ve sızıntı suları Piper diyagramında aynı bölgede toplanmaktadır. Havzanın güneyinde bulunan yeraltı sularının ve gölün su fasiyesi Ca-HCO_3 ile Ca-Mg-HCO_3'tür (Şekil 3.76).

Sonuç olarak Sapanca Gölü'nün güneyinde ki akifer sistemleri ve göl tabanından alınan gözenek sularının hidrojeokimyasal olarak değerlendirilmesi sonucu birbirleriyle ilişkili olan benzer kökenli sular oldukları belirlenmiştir.



Şekil 3.75. Sapanca Havzası'nın güneyindeki akifer sistemleri ve göl taban (gözenek) suyunun yağışlı ve kurak dönem Schoeller diyagramı



Şekil 3.76. Sapanca Havzası'nın güneyindeki akifer sistemleri ve göl taban (gözenek) suyunun yağışlı ve kurak dönem Piper diyagramı

3.7. İzotop Hidrolojisi

Bir elementin atom numarası aynı fakat farklı kütle numarasına sahip atomlarına "izotop" denir. İzotoplar, kararlı ve radyoaktif izotoplar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kararlı izotoplar kararlı bir çekirdek yapısına sahiptir, 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 (Çifter ve Sayın, 2002).

Hidrolojide kullanılan başlıca izotoplar suyun yapısında bulunan oksijen ve hidrojenin izotoplarıdır. Bunlardan hidrojen elementinin kütle numarası 1 olan ^{1}H-hidrojen izotopu %99.98 ile doğada en fazla bulunma oranına sahiptir. Hidrojen elementinin kütle numarası 2 olan ağır izotopu ^{2}H-Döteryum ise daha az bulunmaktadır. Oksijen elementinin üç adet kararlı izotopu (^{16}O,^{17}O,^{18}O) mevcuttur. Değişik hidrojen ve oksijen izotoplarına sahip olan su moleküllerinin ancak üç tanesi doğada ölçülebilir konsantrasyonlarda bulunur. Bunlar $H_2{}^{16}O$, $H_2{}^{18}O$ ve $^{1}H^{2}H^{16}O$ dur (Mook, 2001).

Oksijen ve hidrojenin kararlı izotopları hidrolojik çalışmalarda genellikle izleyici olarak kullanılmaktadır. Su numunesi içerisindeki izotopların bolluğu, onların $^{2}H/^{1}H$ veya $^{18}O/^{16}O$ gibi izotopik bolluk oranlarıyla verilebilir. Oranlardaki bu değişimler ancak kütle spektrometreleriyle saptanabilir.

İzotopik içerikler Denklem (3.2)' deki gibi δ notasyonu ile verilir;

$$\delta‰ \left[\frac{R_{numune}-R_{standart}}{R_{standart}}\right] \times 1000 \qquad (3.2)$$

δ değeri bağıl bir değerdir. Yani δ değeri, numunenin $^{18}O/^{16}O$ veya $^{2}H/^{1}H$ oranı bir standardın $^{18}O/^{16}O$ veya $^{2}H/^{1}H$ oranından farklılığıdır. Su analizlerinde izotoplar için kabul edilen standart SMOW (Standart Mean Ocean Water) dur. İzotopik içerikleri analiz sonucu olarak verilirken döteryum için $^{2}\delta$, $\delta^{2}H$ veya D, Oksijen-18 izotopu için $\delta^{18}O$ veya $^{18}\delta$ ifadeleri kullanılır (Çifter ve Sayın, 2002).

Standarda göre suyu karakterize eden negatif değerler izotopik olarak tükenmeyi, pozitif değerler ise su örneğine göre izotopik zenginleşmeyi göstermektedir. Ölçüm doğruluğu $\delta^{18}O$ için ‰0,15 ve $\delta^{2}H$ için ‰ 1'dir (IAEA, 1981). Okyanuslardaki buharlaşma süreci ve bunu takiben bulutlarda meydana gelen yoğunlaşma süreci sonucunda, meteorik yağışlar ile oluşan yüzey suları deniz suyuna oranla daha düşük $\delta^{18}O$ ve δD değerlerine sahip olmaktadır. Dünya üzerindeki farklı lokasyonlardan alınan çok sayıdaki meteorik sularda gerçekleştirilmiş olan izotop analizleri, meteorik suların $\delta^{18}O$ ve δD değerlerinin $\delta D = 8(\delta^{18}O) + 10$ denklemi ile tanımlanan çizgisel bir ilişkiye sahip olduğunu göstermiştir (Craig, 1961). Meteorik suların $\delta^{18}O$ değerleri 0–60 ‰, δD değerleri ise +10–400 ‰ arasında değişmektedir. Meteorik suların $\delta^{18}O$ ve δD değerleri yıllık ortalama hava sıcaklığına bağlı olarak değişim göstermektedir. Sıcaklık düştükçe izotop ayrımlaşma faktörü, dolayısıyla suların ağır izotop/hafif izotop oranları artmaktadır. Ayrıca bu değerler, bulunulan bölgenin enlemine ve deniz seviyesinden olan yükseltisine bağlı olarak da değişmektedir. Enlem ve yükseklik arttıkça, $\delta^{18}O$ ve δD değerleri düşmektedir (Dangsgaard, 1964; Faure, 1986). Doğu Akdeniz Havzası'nda $\delta^{18}O$ ve δD arasındaki ilişki ise $\delta D = 8 \times \delta^{18}O + 22$ eşitliği ile ifade edilmektedir (IAEA, 1981).

İzotop hidrolojisi çalışmalarında kullanılan radyoaktif izotopların başında hidrojen elementinin kütle numarası 3 olan Trityum (^{3}H) izotopu gelmektedir. Yarı ömrü 12,32 yıl (4500±8 gün) olan ve beta bozunması veren trityum, atmosferin üst tabakalarındaki azot atomlarıyla kozmik nötronların etkileşmesinden doğal olarak oluştuğu gibi, termonükleer denemeler sonucunda da oluşmaktadır. Trityum atomları doğada 1×10^{-15} oranında bulunur. Su içerisindeki trityum konsantrasyonu, trityum birimi (TU) olarak verilmektedir. Yani 10^{18} hidrojen atomuna karşı bir trityum atomunun bulunması 1 Trityum Birimi (TU) olarak tanımlanır. Nükleer denemeler sonucu oluşan trityum, atmosferik ve hidrolojik süreçleri izlemede ve yeraltı sularının yaşları hakkında genel bir bilgi edinmekte kullanılmaktadır. Yeraltı suyu trityum içermiyorsa veya 1,1 TU'den daha az trityum içeriyorsa, bu durum, yeraltı suyunun nükleer bomba denemelerinden daha yaşlı yağışlar ile beslendiğini göstermektedir. Yaşlı sular beslenmenin zayıf, genç sular ise güçlü olduğunun göstergesidir (Dansgaard, 1964; Clark ve Fritz, 1997; Güleç ve Mutlu, 2003). Trityumun atmosferdeki derişim düzeyi, özellikle kuzey yarımkürede, 1950'li ve 1960'lı yıllar arasında büyük bir değişiklik sergilemiş ve nükleer denemelerin başlamasından önce (1963'den önce) 25 TU civarındaki derişimler, nükleer denemelerin başlamasını takiben 1964 yılında 2200 TU'ya kadar yükselmiştir (Faure, 1986).

Sonuç olarak hidrolojide 1960'lardan itibaren yaygın bir şekilde kullanılan çevresel izotoplar, su kaynaklarının araştırılması, geliştirilmesi ve işletilmesi sırasında ortaya çıkan ve klasik yöntemlerle çözülemeyen birçok sorunun çözümüne önemli katkılar sağlamaktadır. Hidrolojik çevrim sürecinde, suyu oluşturan hidrojen ve oksijenin kararlı izotoplarının izotopik içeriklerinde başta sıcaklık olmak üzere yersel ve zamansal faktörlere bağlı olarak birtakım değişiklikler oluşur. Hidrolojik çevrim sürecinde, suyun içeriğindeki kararlı izotoplarda meydana gelen izotopik değişimler, su kütlelerine değişik mesajlar verir. Söz konusu bu mesajların deşifre edilmesi su kütlelerinin hareketlerinin izlenmesini mümkün kılar. Radyoaktif izotoplar ise yarılanma ömürleri nedeniyle suların yaşının belirlenmesi, suların akiferde kalış ve yenilenme süresinin belirlenmesinde izleyici olarak kullanılır. Yüzey ve yeraltı suları, nehirler, sıcak ve mineralli sular, yaşlı sular ve göller izotop tekniklerinin uygulama alanlarını oluşturmaktadır.

3.7.1. İzotop verilerinin değerlendirilmesi

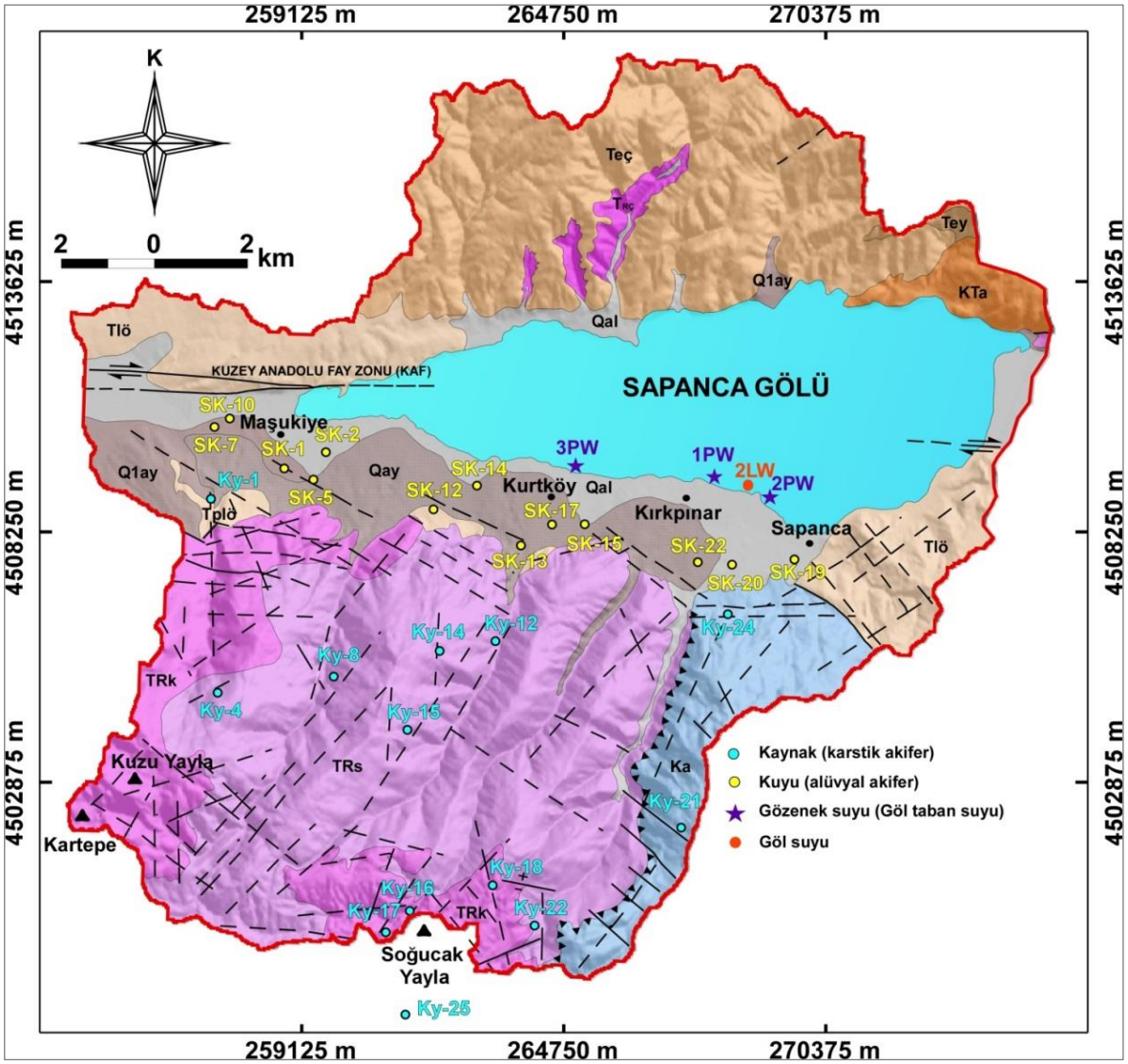
3.7.1.1. Oksijen-18 ve döteryum analizi

Havzadaki suların köken, dolaşım, beslenim mekanizmaları ve akifer sistemleri ile göl arasındaki ilişkinin ortaya konması amacıyla belirlenen lokasyonlardan alınan numuneler üzerinde çevresel izotop ($^{18}O/^{2}D/^{3}H$) analizleri yapılmıştır (Şekil 3.77).

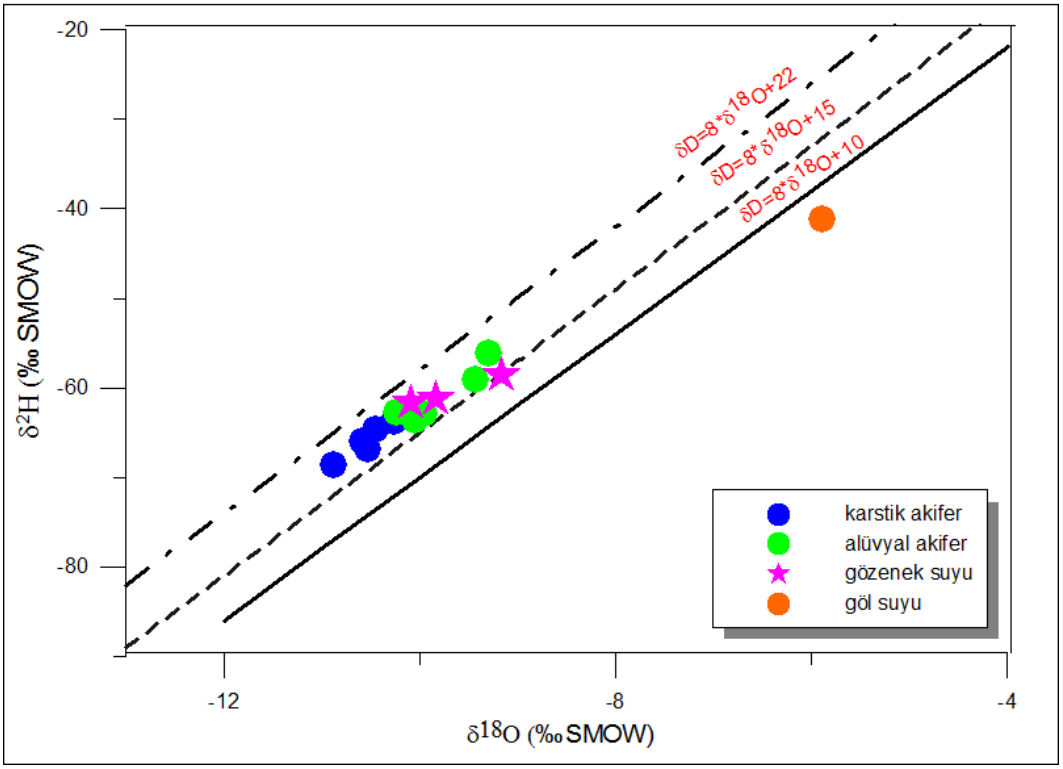
Havzada ki karstik ve alüvyon akiferi temsil eden kaynak ve kuyu noktalarından 2 dönem halinde (Eylül 2009-Nisan 2010) toplam 23 noktadan yeraltı suyu örneklemesi yapılmıştır (Tablo 3.20). Ayrıca 2014 yılı içinde (Nisan-Temmuz) 6 kaynak, 5 kuyu, 3 göl su tabanından gözenek ve göl suyu numuneleri için izotop analizleri yapılmıştır (Tablo 3.21).

2009-2010 yıllarına ait numunelerin Oksijen-18 analiz sonuçlarında analitik hatalar tespit edilmiştir. Bu nedenle, bu yıllar arasında alınan numunelerin döteryum, trityum değerleri ile 2014 yılında alınan örneklerin analiz ($^{18}O/^{2}D/^{3}H$) sonuçları beraber değerlendirilmiştir (Şekil 3.78).

Çalışma alanındaki su numunelerine ait $\delta^{18}O$-δD grafik için (Şekil 3.70**)**, Craig (1961) tarafından tanımlanan Dünya Meteorik Su Doğrusu ($\delta^{2}H=8\times\delta^{18}O+10$), Akdeniz ($\delta^{2}H=8\times\delta^{18}O+22$) ve Marmara Meteorik Su Doğrusu ($\delta^{2}H=8\times\delta^{18}O+15$) kullanılmıştır (Şekil 3.78).



Şekil 3.77. Sapanca Havzası'nda izotop ($^{18}O/^{2}D/^{3}H$) örneklemesi yapılan lokasyonlar



Şekil 3.78. Sapanca Havzası yeraltı sularının Oksijen-18 ($\delta^{18}O$)-Döteryum ($\delta^{2}H$) grafiği

Beslenme alanları aynı olan ya da aynı tür yağışlardan beslenen akifere ait örnekler Oksijen18-Döteryum grafiği üzerinde birbirine yakın konumda bulunurlar. Genellikle bir bölgedeki yağışlara ve yeraltı suyuna ait izotop değerleri, eğer suların kökeni aynı ise aynı doğru üzerinde ve yeraltı sularına ait değerler aynı küme içinde toplanırlar (Ünsal ve diğ., 1996).

Havzadaki yeraltı suları Akdeniz ve Marmara su doğrusu üzerinde birbirine yakın konumda bulunmaktadır (Şekil 3.78). Bu veriler bölgedeki yeraltı sularının aynı tür yağışlardan beslendiğini işaret etmektedir. Ayrıca gözenek suyu örneklerinin alüvyal akifer sistemi ile benzer özellik gösterdiği, dolaşım süresinin uzunluğu ile doğru orantılı su-kayaç ilişkisinin artmasına bağlı olarak bu suların karstik akifer sistemine göre Oksijen-18'ce daha zenginleştiği görülmektedir. Göl suyu ise buharlaşmaya bağlı olarak Oksijen-18 açısından pozitif yönde bir zenginleşme göstermektedir.

Tablo 3.20. Sapanca Havzası yeraltı su örneklerine ait izotop (δ^2H ve ^3H) analiz sonuçları (2009-2010)

Numune No	Numune Adı	Lokasyon	X	Y	KOT(m)	Döteryum (δ^2H)		Trityum (TU)		Akifer
						Eylül 2009	Nisan 10	Eylül 2009	Nisan 2010	
Ky-1	Hamamsu Kay.	Maşukiye	257176	4508959	197	-58,91	-67,62	6,90	6,25	Karstik
Ky-4	Ardıç Kay.	Maşukiye	257320	4504797	1022	-68,62	-76,84	7,25	6,85	Karstik
Ky-8	Yanık Kay.	Yanık	259812	4505144	631	-64,80	-63,46	7,85	7,4	Karstik
Ky-12	İncirlikaya Kay.	Kurtköy	263284	4505905	200	-64,09	-72,53	6,85	6,35	Karstik
Ky-15	Şahinkaya-1 Kay.	Kurtköy	261393	4504000	725	-65,93	-65,41	7,70	8,0	Karstik
Ky-16	Beşpınar Kay.	Kırkpınar	261444	4500113	1096	-68,07	-66,7	7,0	7,2	Karstik
Ky-17	Soğucak Kay.	Sapanca	260921	4499580	1135	-69,67	-79,99	7,05	7,4	Karstik
Ky-18	Mağara Kay.	Sapanca	263224	4500662	1059	-67,90	-63,61	7,95	7,2	Karstik
Ky-21	Nikola Kay.	Sapanca	267271	4501901	631	-67,45	-65,18	7,4	6,7	Karstik
Ky-24	Yedigözler Kay.	Sapanca	268273	4506482	172	-58,65	-56,36	6,7	5,9	Karstik
Ky-25	Gümüşsdere Kay.	Sapanca	260814	4497435	940	-68,65	-76,99	6,9	6,95	Karstik
SK-1	Maşukiye 37612	Maşukiye	259376	4509373	40	-57,22	-57,97	0,55	2,05	Alüvyal
SK-2	Cansu-kuyu	Maşukiye	259643	4509962	35	-62,22	-59,07	8,7	7,60	Alüvyal
SK-5	37611-kuyu	Maşukiye	258750	4509613	43	-58,87	-61,36	6,95	7,25	Alüvyal
SK-7	37610-kuyu	Maşukiye	257252	4510504	45	-60,33	-50,58	6,1	5,2	Alüvyal
SK-10	Coca Cola-kuyu	Maşukiye	257579	4510685	43	-61,8	-63,02	6,5	6,6	Alüvyal
SK-12	Muhtarlık-kuyu	Yanık	261954	4508734	60	-57,41	-50,07	7,65	6,95	Alüvyal
SK-13	27132-kuyu	Kurtköy	263831	4507959	82	-63,87	-65,71	6,3	7,10	Alüvyal
SK-14	Bel. Sndj-kuyu	Kurtköy	262887	4509244	37	-58,77	-44,02	8,5	7,35	Alüvyal
SK-15	Beld. Yanı-kuyu	Kırkpınar	265200	4508415	55	-63,77	-49,46	5,45	5,8	Alüvyal
SK-19	L5-kuyu	Sapanca	269702	4507659	70	-58,60	-	7,1	-	Alüvyal
SK-20	L10-kuyu	Sapanca	268363	4507547	55	-61,89	-63,39	7,4	6,7	Alüvyal
SK-22	L3-kuyu	Sapanca	267628	4507601	68	-61,21	-62,48	8,05	6,3	Alüvyal

Tablo 3.21. Sapanca Havzası, göl ve göl tabanından alınan gözenek suyu örneklerine ait izotop ($\delta^{18}O$, $\delta^{2}H$ ve ^{3}H) analiz sonuçları (2014 Nisan-Temmuz)

Numune No	**Numune Adı**	**Lokasyon**	**X**	**Y**	**KOT (m)**	**Oksijen-18 ($\delta^{18}O$)**	**Döteryum ($\delta^{2}H$)**	**Trityum (TU)**	**Akifer-Ortam**
1PW	Gözenek suyu	Sapanca	268820	4509213	32	-9,84	-61,21	5,88	Göl taban suyu
2PW	Gözenek suyu	Sapanca	269572	4508368	34	-9,17	-58,54	5,49	Göl taban suyu
3PW	Gözenek suyu	Kırkpınar	264826	4509572	33	-10,09	-61,68	6,26	Göl taban suyu
2LW	Göl suyu	Sapanca	269572	4508368	34	-5,90	-41,11	ölçülmedi	Göl
Ky-8	Yanık Kaynağı	Yanık	259812	4505144	631	-10,27	-64,80	ölçülmedi	Karstik
Ky-14	Dibektaş Kaynağı	Kurtköy	262085	4505694	685	-10,20	-63,07	ölçülmedi	Karstik
Ky-15	Şahinkaya Kaynağı-1	Kurtköy	261393	4504000	725	-10,59	-65,90	ölçülmedi	Karstik
Ky-16	Beşpınar Kaynağı	Sapanca	261444	4500113	1096	-10,89	-68,58	ölçülmedi	Karstik
Ky-18	Mağara Kaynağı	Sapanca	263224	4500662	1059	-10,45	-64,64	ölçülmedi	Karstik
Ky-22	95 Kaynağı	Sapanca	264125	4499799	1096	-10,53	-66,82	ölçülmedi	Karstik
SK1	Maşukiye 37612	Maşukiye	259376	4509373	40	-9,30	-56,05	ölçülmedi	Alüvyal
SK13	Kurtköy 27132	Kurtköy	263831	4507959	55	-9,96	-62,83	ölçülmedi	Alüvyal
SK17	Manors sitesi	Kırkpınar	264498	4508409	65	-10,24	-62,70	ölçülmedi	Alüvyal
SK19	Sapanca L5	Sapanca	269702	4507659	70	-9,43	-58,99	ölçülmedi	Alüvyal
SK20	Sapanca L10	Sapanca	268363	4507547	55	-10,05	-63,52	ölçülmedi	Alüvyal

Duraylı izotoplardan Döteryum ile Oksijen-18 arasındaki ilişki, belli yağış rejimleri için değişmemektedir. Bu nedenle, örneklerdeki döteryum fazlası kullanılarak farklı yağış rejimlerinin etkisi ve beslenme alanları konusunda bilgi edinme olanağı vardır (Güven, 1996). Döteryum fazlası Df =δD-8xδ^{18}O eşitliği ile hesaplanabilir. Bölgedeki kaynaklar için hesaplanan Döteryum fazlası (Df) değerleri Tablo 3.22'de verilmiştir. Havzadaki kaynaklar Df değerleri açısından birbirine çok yakındır bu da karstik kaynakların aynı tür yağış rejiminden beslendiğini göstermektedir.

Tablo 3.22. Sapanca Havzası'nda analizi yapılan kaynaklar için döteryum fazlası (Df) değerleri

Numune No	Kaynak Adı	Lokasyon	X	Y	KOT (m)	Oksijen-18 (δ^{18}O)	Döteryum (δ^{2}H)	Df
Ky-8	Yanik	Yanık	259812	4505144	631	-10,27	-63,80	18,36
Ky-14	Dibektaş	Kurtköy	262085	4505694	685	-10,20	-63,07	18,53
Ky-15	Sahinkaya	Kurtköy	261393	4504000	725	-10,59	-65,90	18,82
Ky-16	Bespinar	Sapanca	261444	4500113	1096	-10,89	-68,58	18,54
Ky-18	Magara	Sapanca	263224	4500662	1059	-10,45	-64,64	18,96
Ky-22	95 Kaynağı	Sapanca	264125	4499799	1096	-10,53	-66,82	17,42

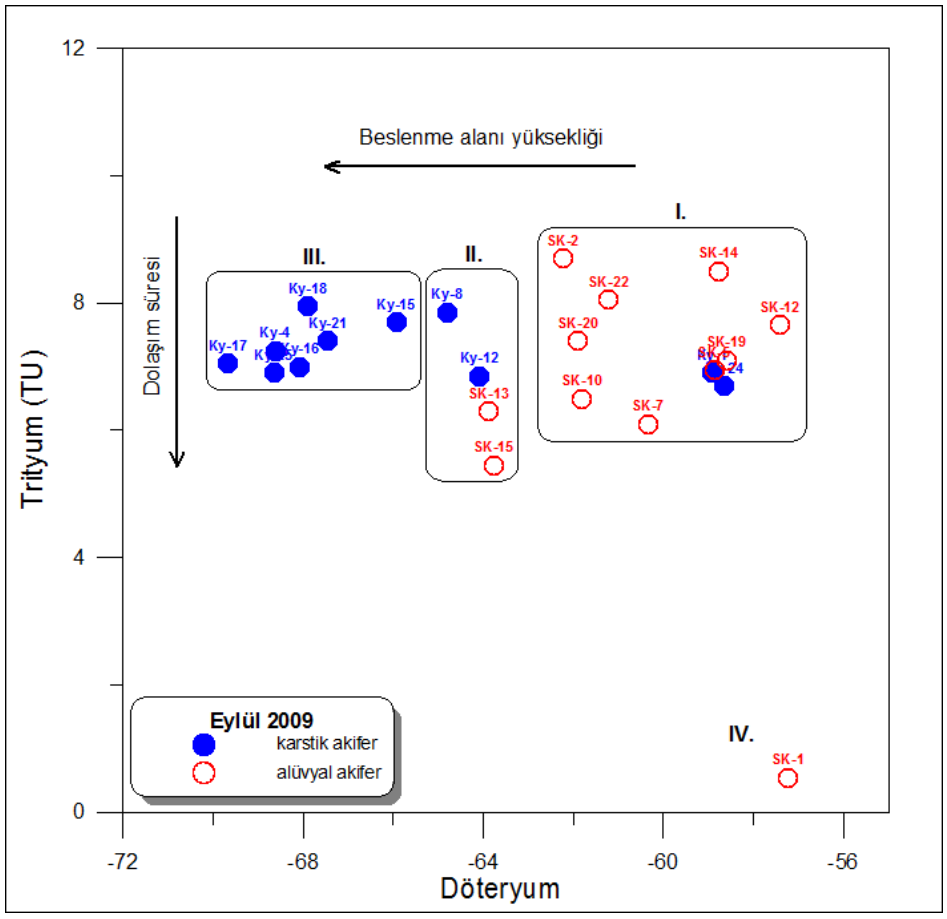
3.7.1.2. Trityum analizleri

Trityum değerleri 5 ve üzeri olan sular, güncel yağışlarla beslenen yağışlardan oluşan 5-10 yıllık modern sular sınıfındadır. Trityum değer aralığı 0-2 TU arasında olan sular ise, nükleer denemeler öncesi (1952 öncesi) gerçekleşen 60 yıldan daha eski yağışlardan beslenen sular olduğunu göstermektedir (Faure, 1986).

Sapanca Havzası'ndan farklı tarihlerde alınan yeraltı suyu örneklerinin (kaynak, kuyu, gözenek suyu) trityum değerleri Tablo 3.20 ve Tablo 3.21'de gösterilmiştir. Alüvyal akiferdeki SK-1 kuyusu dışında tüm yeraltı suyu örneklerinin trityum değerleri 5,2 ile 8,7 TU arasında değişmektedir. Bu değerler, inceleme alanı içinde analizi yapılan yeraltı sularının çoğunun güncel yağışlardan beslenen genç sular sınıfında olduğunu göstermektedir. Maşukiye'de ki SK-1 kuyusunun ise analizi yapılan diğer yeraltı suları içinde 60 yıldan daha eski yağışlardan beslenen yeraltı suyu olduğu belirlenmiştir.

Döteryum-Trityum ve Oksijen18–Trityum ilişkisi, suların beslenme kotları ile akifer içinde kalış süreleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Bu veriler ile suların akifer sisteminde sığ-hızlı dolaşım, derin-yavaş dolaşım veya her ikisinin karışımı

şeklinde olup olmadıkları hakkında bilgi edinmemizi sağlarlar. Döteryum-Trityum ve Oksijen18-Trityum grafiklerinde, düşey eksen boyunca orijine doğru yaklaşıldıkça, suların akifer içinde kalış süresi artarken, yatay eksen boyunca negatif değere doğru yaklaşıldıkça suların beslenme alanı kotu yükselmektedir (Şekil 3.79, Şekil 3.80). 2009-2010 yılları içinde alınan numunelere ait Oksijen-18 analiz sonuçları hatalı olduğundan o yıla ait veriler için grafikler oluşturulurken döteryum verileri kullanılmıştır.



Şekil 3.79. Sapanca Havzası yeraltı sularının Döteryum (δ^2H)-Trityum (TU) grafiği

2009 yılında alınan yeraltı suyu örnekleri için oluşturulan Döteryum-Trityum grafiği incelendiğinde, beslenme alanı yüksekliği ve dolaşım süresi açısından 3 farklı grup gözükmektedir (Şekil 3.79). Maşukiye'de alüvyal yelpaze akiferinde açılmış SK-1 kuyusunun derinliği 66 m olup nispeten düşük kotlardan beslenmektedir. Buna karşın havzadaki en derin ve yavaş dolaşıma sahip yeraltı suyudur. SK-1 kuyusundan alınan

yeraltı suyunun, muhtemelen derin dolaşımlı bir sistemden, bir kırık hattı boyunca alüvyal akifere karıştığı düşünülmektedir.

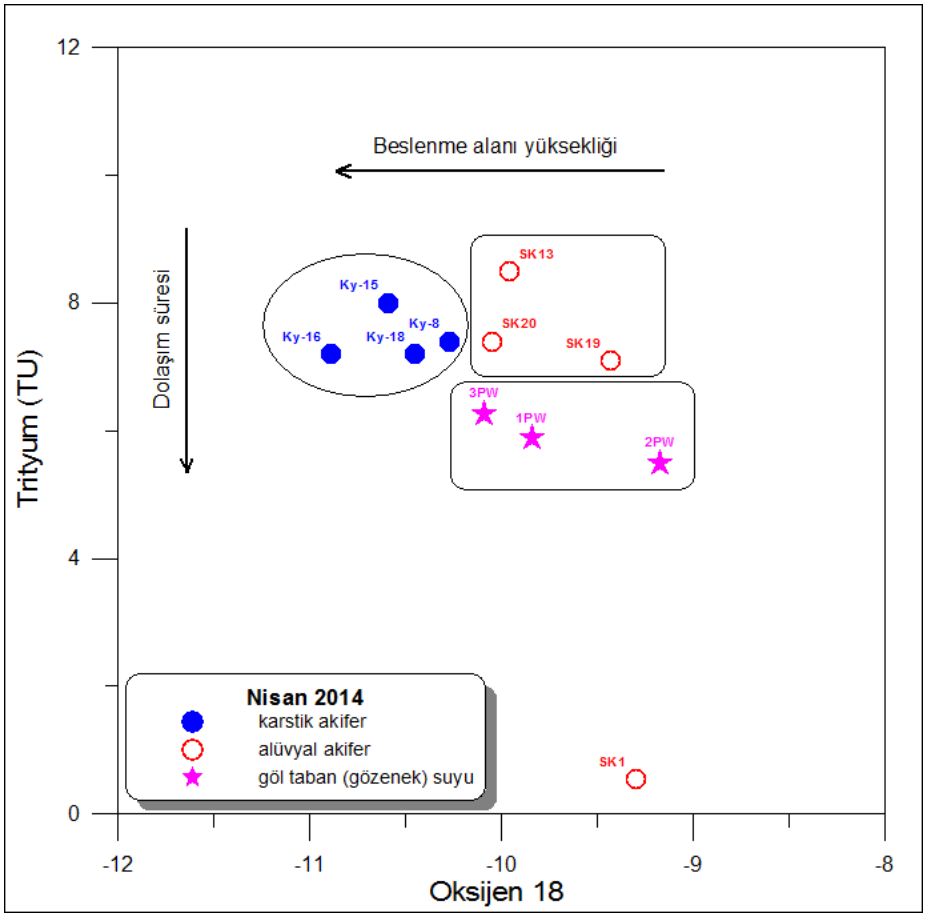
I. grup içinde yer alan karstik ve alüvyal akifere ait örnekler havzadaki en düşük kotlardan beslenen sular grubundadır. Karstik akifer sistemi içinde bulunan Ky-1 (197 m) ve Ky-24 (172 m) numaralı kaynaklar havzada en düşük kotlardan boşalan kaynaklardır (Tablo 3.20). Muhtemelen bu kaynaklar bölgesel yağış ile süreksizlikler boyunca yüzeyden beslenmektedir.

II. grupta yer alan Ky-12 numaralı kaynak ile SK-13 ve SK-15 numaralı kuyular hemen hemen aynı beslenme alanı yüksekliğine sahiptir. Ayrıca aynı vadi boyunca doğrusal bir düzlem üzerinde yer almaktadırlar (Şekil 3.79). Ky-12 numaralı kaynak Kurtköy Dere Vadisi içinde bulunmakta ve kısmen dereye boşalmaktadır. Bölgedeki alüvyal akifer, kurak dönem olması sebebiyle muhtemelen Kurtköy Dere tarafından beslenmektedir. Ayrıca doğrusal düzlem üzerinde suyun hareket yönü açısından en düşük kotta yer alan SK-15 numaralı kuyu havzadaki en uzun dolaşım süresine sahip (SK-1 hariç) sudur.

III. grupta yer alan karstik akifere ait sular boşalım kotları ile de uyumlu olacak şekilde havzadaki en üst kottan beslenen sulardır.

Sapanca Havzası'nın güneyindeki akifer sistemleri ile göl arasındaki beslenim-boşalım ilişkisinin ortaya konması amacıyla 2014 yılında havzadaki kaynak, kuyu ve göl tabanından alınan (gözenek) sular üzerinde çevresel izotop analizleri yapılmıştır (Tablo 3.21). Bu örneklere ait Oksijen18-Trityum grafiği incelendiğinde, akifer sistemleri ve göl tabanından (gözenek) alınan suların kendi içinde gruplaştığı gözlenmektedir (Şekil 3.80).

Alüvyal akifer ve göl tabanından (gözenek) alınan yeraltı suyu örnekleri karstik akifer sisteminden alınan örneklere göre nispeten daha düşük kotlardan beslenmektedir. Karstik akifer ve alüvyal akiferdeki yeraltı sularının dolaşım süreleri ise birbirine yakındır. Göl tabanından alınan yeraltı sularının (gözenek) dolaşımı alüvyon birimlerin geçirimlilikleri düşük killi seviyeleri boyunca hareket etmesi nedeniyle, akifer sistemlerinden alınan sulara (kaynak, kuyu) göre nispeten daha yavaş ve uzun bir dolaşıma sahip olduğunu göstermektedir.



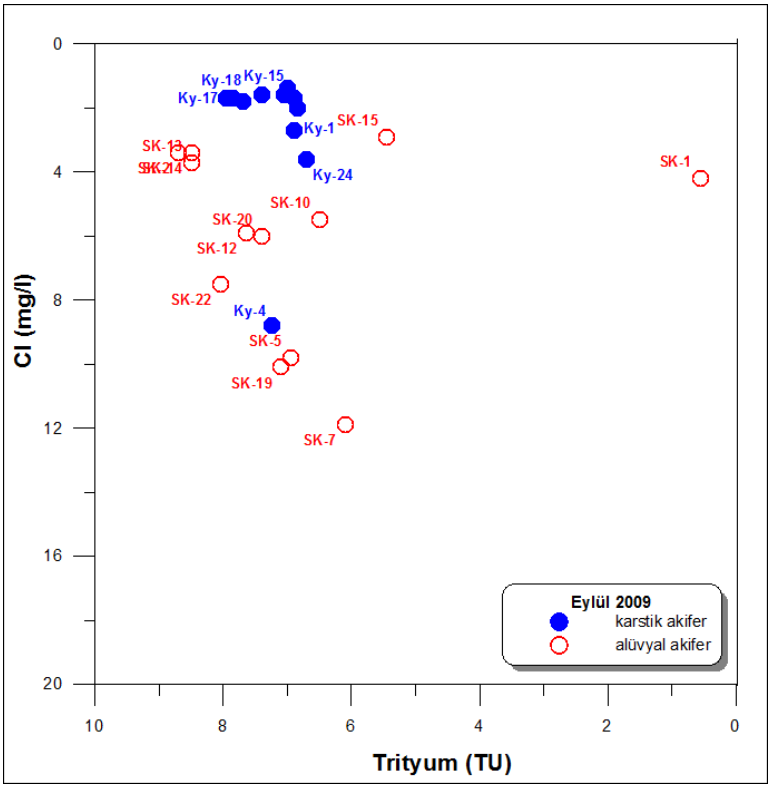
Şekil 3.80. Sapanca Havzası yeraltı sularının Oksijen-18 ($\delta^{18}O$)-Trityum (TU) grafiği

Sonuç olarak çalışma alanı içindeki akifer sistemleri içindeki yeraltı suları güncel yağışlarla (5-10 yıl) beslenen genel anlamda hızlı ve dinamik bir beslenim- boşalım özelliği gösteren sığ dolaşımlı sulardır.

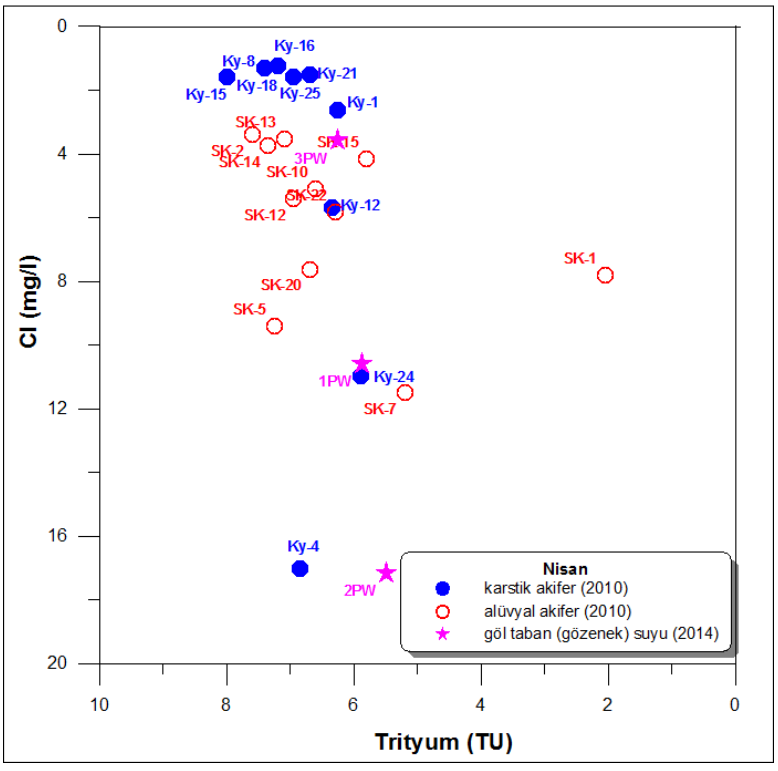
Suların izotopik değerlendirilmesinde kullanılan trityum (^3H) izotopu, duraysız bir izotop olmasından dolayı yeraltı suyunun rezervuarda kalış süresi ile orantılı olarak radyoaktif bozunmaya uğramaktadır. Dolayısı ile yeraltı sularının bağıl yaşlarının ortaya konmasında ^3H izotopu en önemli parametrelerden biridir. Aynı şekilde örneklere ait Cl^- değerleri de, yeraltı suyunun rezervuarda kalış süresine bağlı olarak artış göstermektedir (Güner, 2002). Bu amaçla havzada, farklı dönemleri temsilen alınan yeraltı suları (Eylül 2009, Nisan 2010 ve Nisan 2014) Trityum- Cl^- değerleri açısından değerlendirilmiştir (Şekil 3.81, Şekil 3.82).

Havzada bulunan karst ve alüvyal akifer sistemindeki yeraltı suları, kalış süreleri açısından incelendiğinde, çok genel olarak alüvyal akiferdeki suların kalış süresinin karst akiferindeki yeraltı sularına göre nispeten daha fazla olduğu belirlenmiştir. Havzadaki karst akifer sistemi yüksek trityum, düşük klor değerlerine sahiptir. Bu durum karst akifer sistemindeki kaynak sularının akiferde kalış süresinin daha kısa olduğunu ve buna bağlı olarak daha hızlı bir beslenim-boşalım karakteri sergilediğine işaret etmektedir. Alüvyal akifer ve göl taban suyundan alınan gözenek sularının trityum değerlerinde büyük farklılık gözlenmezken, Cl^- değerleri açısından akış yönünde bir zenginleşme görülmektedir (Şekil 3.74) Her iki grafikte Ardıç Kaynağı (Ky-4) ve Yedigözler Kaynağı'nın (Ky-24) Cl^- değerleri yüksektir.

Bu belirtilen kaynaklardan Ardıç Kaynağı (Ky-4), Kartepe Kayak Tesislerinin (1600 m) 2 km kadar alt tarafında, tesislere bağlanan ana yolun hemen yakınında (~20 m) yer almaktadır. Yedigözler Kaynağı ise (Ky-24) Sapanca bölgesinde en alt kotta (172 m) boşalım gösteren ve yerleşim alanlarının olduğu bir bölgede yer almaktadır. Bu nedenle Cl^- değerinin kirletici kökenli olup olmadığının daha detaylı olarak araştırılması gerekmektedir. Ardıç Kaynağı'nın Cl^- değerinin kurak döneme nazaran yağışlı dönemde daha yüksek olması, kökenin dolaşımın uzunluğuna bağlı olmadığını, daha çok eriyen kar sularıyla taşınan kirletici kökenli olduğunu kuvvetlendirmektedir. Ayrıca her iki kaynağın trityum değerlerinin diğer kaynaklar ile benzer değerlere sahip olması dolaşım süresi açısından herhangi bir farklılık olmadığını göstermektedir.



Şekil 3.81. Sapanca Havzası yeraltı sularının Cl-Trityum grafiği (Eylül-2009)



Şekil 3.82. Sapanca Havzası yeraltı sularının Cl-Trityum grafiği (Nisan 2010-2014)

3.8. Sapanca Havzası Kavramsal Modeli

Bu çalışma kapsamında Sapanca Göl Havzası için jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal veriler değerlendirilerek havzanın güneyindeki akifer sistemlerinin birbirleriyle ve Sapanca Gölü ile olan beslenim-boşalım ilişkisinin ortaya konması amacıyla kavramsal modeli oluşturulmuştur (Şekil 3.83, Şekil 3.84, Ek-8a, Ek-8b).

Sapanca Havzası'nın doğu ve batı sınırları bataklık ürünü olan killer ile sınırlıdır. Havzanın kuzey kesimi ise sınırlı bir alanda bulunan alüvyon dışında fliş özelliği taşıyan geçirimsiz birimlerden oluşmaktadır. Sonuç olarak Sapanca Gölü'nün doğusu, batısı ve kuzeyi hidrojeolojik açıdan negatif bir sınır oluşturmaktadır. Sapanca Havzası'nın önemli akifer özelliği taşıyan birimleri ise Sapanca Gölü nün güney kesimlerinde bulunmaktadır. Bu amaçla kavramsal model oluşturulurken havzanın güneyindeki akifer sistemlerini içine alan kesitler kullanılmıştır (Şekil 3.83, Şekil 3.84, Ek-8a, Ek-8b).

Sapanca Havzası'nın güneyinde iki önemli akifer sistemi bulunmaktadır. Bunlar, havzanın güneyindeki Keltepe Mermerleri ve Sultaniye Metamorfitleri içinde bulunan rekristalize kireçtaşı ve mermer birimleri içinde gelişmiş karst akifer sistemi ile gölün güneyindeki Sapanca Ovası hattı üzerinde bulunan alüvyal akifer sistemidir.

Sapanca Havzası'nın güneyindeki metamorfikler içinde yer alan mermer birimler içinde gelişmiş karst akifer sisteminin beslenim alanlarını kontrol eden 2 ana beslenim alanı (sistem) bulunmaktadır. Bu alanlar Keltepe Mermerleri üzerinde yer alan Kurtköy-Sapanca arasındaki kaynakların besleniminden sorumlu Soğucak Yayla (~1200 m) beslenim alanı (Şekil 3.83, Şekil 3.84, Ek-8a, Ek-8b) ile Maşukiye'de ki kaynakların besleniminden sorumlu Kartepe-Kuzu Yayla (~1500 m) beslenim alanlarıdır (Şekil 3,84, Ek-8a, Ek-8b). Bu iki ana beslenim alanı üzerinde polye, uvala, dolin, obruk, düden gibi çeşitli karstik yapılar gelişmiştir. Havzanın yüksek kotlarını oluşturan beslenim alanları üzerine düşen yağış ve eriyen kar suları bu iki ana beslenim alanı üzerinde bulunan karstik yapılar ile bağlantılı olduğu karst akifer sistemlerini büyük oranda beslemektedir. Ayrıca hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal veriler, havzanın güneyindeki kaynakların allojenik noktasal ve otojenik yaygın beslenimden etkilendiklerini göstermektedir.

Havzanın güneyindeki kaynak boşalım kotları 1135 m ile 172 m arasında değişmektedir. Havzanın güneyindeki metamorfik birimler üzerinde KD ve KB doğrultulu olan kırık hatları ayrıca bölgedeki kaynakların beslenim ve boşalım mekanizmalarından sorumludur. Havzanın güneyindeki kaynak boşalımları çoğunlukla kırık hatları ile sağlanmaktadır. Bu durum karst akifer sistemine ait yeraltı sularının hızlı bir beslenim-boşalım ilşkisine sahip olmasına neden olmaktadır. Ayrıca karst akifer sistemi tek bir sistem olmayıp birbirleriyle bağlantılı veya bağlantılı olmayan birçok parçalı sistemden oluşmaktadır.

Havzanın güneyinde Sapanca-Maşukiye hattı üzerinde bulunan alüvyal akifer sistemi ise ovada basınçlı ve yarı basınçlı bir karakter sergilemektedir. Alüvyal akifer sisteminin beslenimi yağıştan, derelerden (dönemsel olarak) ve önemli ölçüde dağ önü beslenimden sağlanmaktadır. Alüvyal akifer içinde yeraltı suyunun akım yönü göle doğrudur.

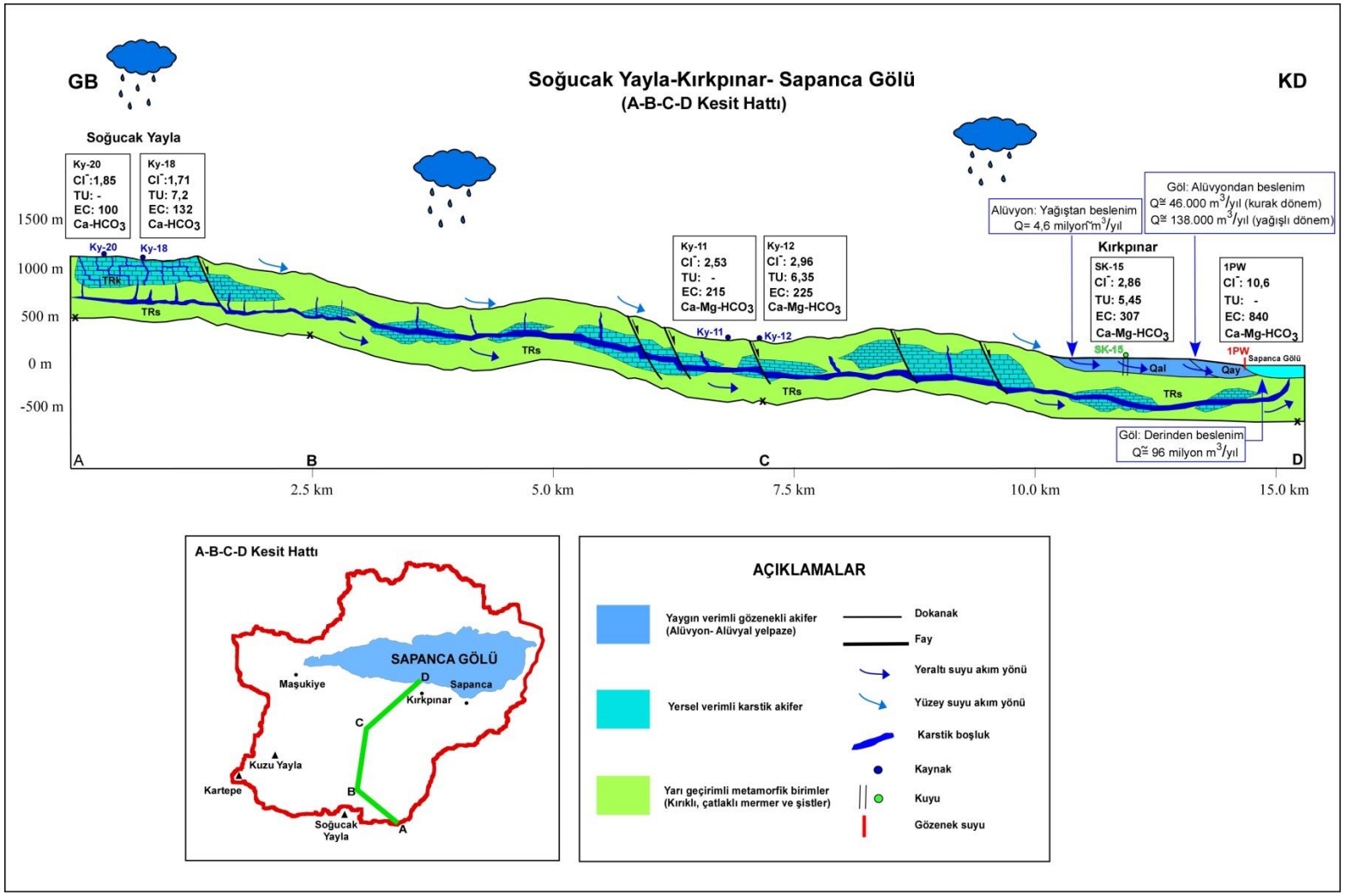
Karst ve alüvyal akifer sistemine ait yeraltı sularının izotop ve kimyasal verileri, havzadaki yeraltı sularının güncel yağışlardan beslendiğini ve karst akifer sistemi ile Sapanca Gölü arasında bir beslenim-boşalım ilişkisinin olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca havzadaki akifer sistemlerine ait yeraltı suları rezervuar kayayı oluşturan mermerlerin özelliklerini yansıtan benzer kimyasal fasiyese sahiptir.

Yeraltı sularına ait fiziksel ve kimyasal parametreler karst akifer sistemi ile alüvyal akifer ve Sapanca Gölü arasında doğrudan veya dolaylı bir ilişki bulunduğunu ortaya koymaktadır. Alüvyal akifer sistemi, karst akifer sistemi ve göl arasında bir geçiş zonu oluşturmaktadır. Kırıkların kontrolünde bulunan karst akifer sistemi hızlı bir beslenim boşalım karakteri sergilerken, alüvyonda bulunan ince taneli birimler ortamın geçirimliliğini düşürerek göle doğru hareket eden yeraltı sularının hızının yavaşlamasına neden olmaktadır. Havzanın güney yüksek kesimlerindeki karst akifer sisteminden, alüvyal akifer sistemine ve oradanda göle doğru gerçekleşen yeraltısuyu akımı boyunca yeraltı suyu kimyası benzer özellikler göstermekle beraber suyun akış hızının alüvyal akiferden göle geçişi boyunca yavaşlaması ile su-kayaç ilişkisinin artmasına ve su kimyası açısından zenginleşmesine neden olmaktadır (Şekil 3.83, Şekil 3.84, Ek-8a, Ek-8b).

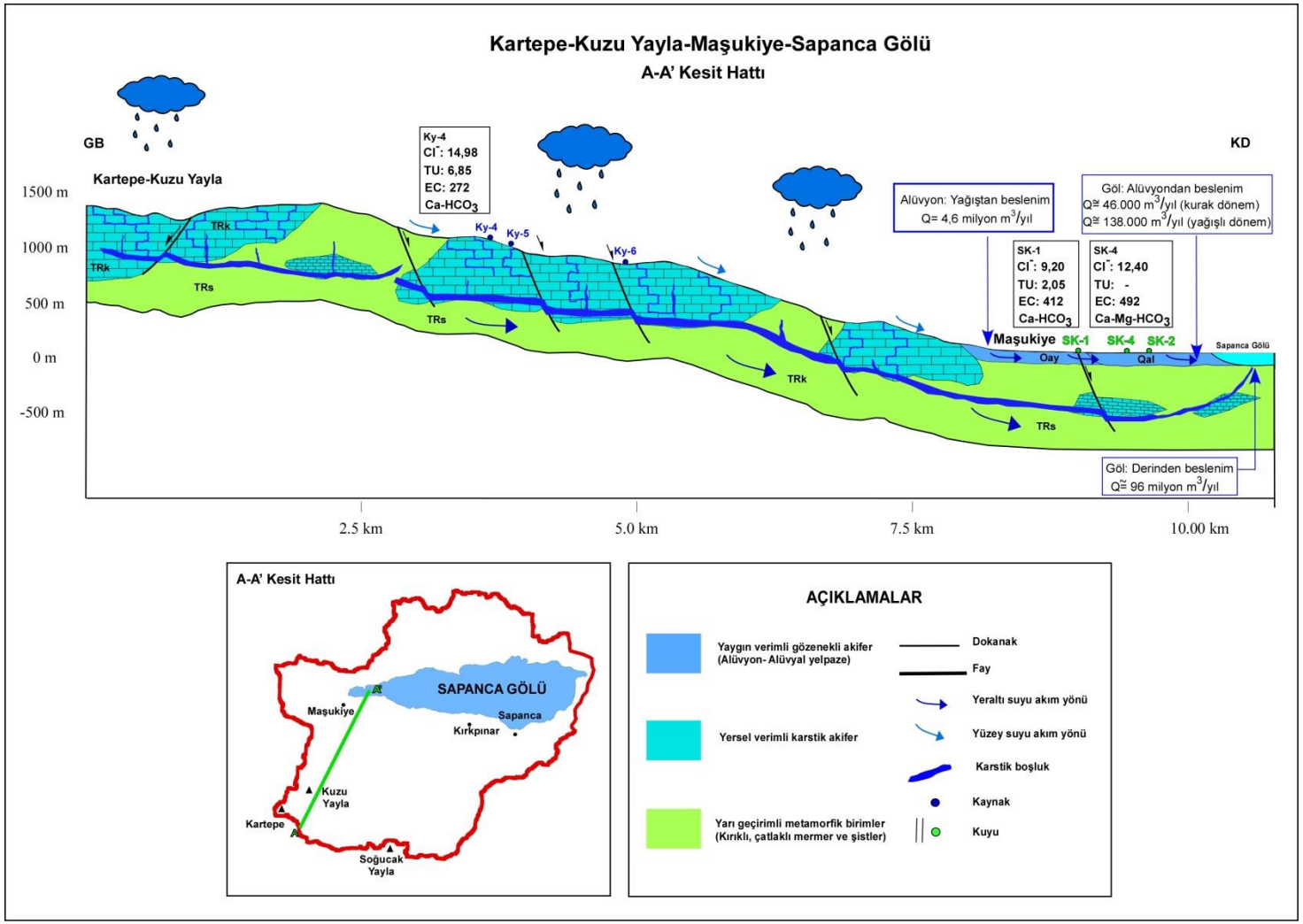
Sapanca Gölü'nün yüzeyden beslenimi ise büyük oranda havzanın güneyindeki yüksek kesimlerinden doğan derelerden sağlanmaktadır. Dönemsel olarak alüvyal akiferde bu derelere katkı sağlamaktadır.

Sapanca Gölü'nü yeraltından besleyen 2 mekanizma bulunmaktadır. Bunlar, özellikle gölün güney kesiminde bulunan, gölü kırık hatları ve karstik boşalımlar ile derinden besleyen sistem ile alüvyal akiferden göle doğru gerçekleşen beslenimdir. Sapanca Gölü'nü yeraltından besleyen ana mekanizmayı derin olan sistem oluşturmaktadır. Alüvyondan gerçekleşen beslenim ise derinden gerçekleşen beslenim miktarı içinde ihmal edilebilir düzeylerde kalmaktadır. Bu durum, gölü derinden kırık hatları ve/veya karstik boşalımlar ile besleyen bir sistemin olduğunu ve havzanın güneyindeki karst akifer sistemleriyle göl arasında bir bağlantının olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak gölün beslenimine büyük katkı sağlayan yüzeysel ve yeraltı suyu beslenimi ile önemli su potansiyeline sahip akifer sistemleri havzanın güney kesiminde yer almaktadır.



Şekil 3.83. Sapanca Havzası'nın güney kesimindeki akifer sistemlerinin birbirleriyle ve göl arasındaki beslenim-boşalım ilişkisini gösterir kavramsal model, Soğucak Yayla Sistemi



Şekil 3.84. Sapanca Havzası'nın güney kesimindeki akifer sistemlerinin birbirleriyle ve göl arasındaki beslenim-boşalım ilişkisini gösterir kavramsal model, Kartepe-Kuzu Yayla Sistemi

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sapanca Göl Havzası'nda önemli su potansiyeline sahip iki ana akifer sistemi bulunmaktadır. Bunlar havzanın güneyindeki Triyas yaşlı Keltepe Mermerleri ve Sultaniye Metamorfitleri içinde bulunan mermerler içerisinde gelişmiş karst akifer sistemi ve ovada doğu-batı yönlü yayılım gösteren Kuvaterner yaşlı alüvyal yelpaze akiferidir.

Karst akiferinde ve alüvyal akiferde, yeraltı suyu boşalımı havza içerisinde genellikle Sapanca Gölü'ne doğrudur. Bu boşalım ya doğrudan ya da dereler vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Sapanca Gölü'nün kuzey tarafından göle gerçekleşen yeraltı suyu hareketi oldukça sınırlıdır. Gölün doğu ve batı sınırları ise bataklık fasiyesinde olup negatif bir hidrolojik sınır oluşturmaktadır.

Havzanın güneyindeki kaynakların beslenme alanını yüksekliği yaklaşık 1200 m ile 1500 m arasında değişen üzerinde polye, dolin, obruk, düden gibi çeşitli karstik yapıların geliştiği geniş düzlük alanlar oluşturmaktadır. Bunlar, Sapanca-Kırpınar ve Kurtköy'deki kaynakların ana beslenim alanlarını oluşturan Soğucak Yayla (1200 m) ile Maşukiye bölgesindeki kaynakların beslenimini oluşturan Kartepe (1500 m) ve Kuzu Yayla (1300 m) karstik alanlarıdır.

Havzadaki kaynaklar Triyas yaşlı birimler içinden, çoğu kırık ve çatlaklardan, bir kısmı şist ve mermer dokanaklarından ve karstik mağaralardan boşalmaktadır. Hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal veriler havzanın güneyindeki kaynakların allojenik noktasal ve otojenik yaygın beslenimden etkilendiklerini göstermektedir.

Sapanca Göl Havzası'nda yaklaşık 172-1135 m kotları arasında farklı kotlardan boşalan karstik kaynak suları kurumlar tarafından bölgedeki birçok ilçe ve köyün içme suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılmaktadır.

Buna ek olarak resmi kayıtlara göre 17 özel içme suyu fabrikası havzanın güneyindeki karstik akiferden boşalan bu kaynak sularını şişeleyerek Marmara ve civarındaki bölgelere içme suyu olarak pazarlamaktadır. Kurumlar ve özel içme suyu fabrikaları tarafından kullanılan kaynak sularının yıllık toplam hacmi 7,3 milyon m^3/yıl'dır.

Bu miktarın Sapanca Gölü'nün yıllık dinamik bütçesindeki payı (~%1) oldukça düşüktür. Ancak kurak dönemde derelerin beslenimine katkı sağlayan kaynak boşalımlarının kaptaj altına alınması dereler ve üzerindeki ekosistem üzerinde ciddi baskılar oluşturmaktadır.

Sapanca Gölü'nü yeraltından besleyen 2 farklı sistem bulunmaktadır. Bu sistemler, göl tabanından kırıklar ve karstik boşalımlar ile gerçekleşen derin sistem ile alüvyondan göle olan boşalım (sızma) ile gerçekleşen sistemdir. Göl bütçe hesaplamaları ile gölü yeraltından besleyen su miktarı 2010 yılı verilerine göre yaklaşık 96 milyon/m^3 olarak hesaplanmıştır. Göl tabanında yapılan deneysel çalışmalar (seepage metre metodu) ile alüvyondan gerçekleşen beslenim miktarı ise kurak ve yağışlı dönem için sırasıyla 46.000 m^3/yıl ile 138.000 m^3/yıl olarak belirlenmiştir. Bu verilere dayanarak gölün ana beslenim mekanizmasının derin sistem olduğu alüvyondan gerçekleşen beslenimin, toplam yeraltı suyu girdisi içindeki katkısının ise ihmal edilebilir düzeyde kaldığı belirlenmiştir.

Sapanca Gölü'nün yeraltı suyu bileşeninin göl su bütçesine olan katkısını belirlemek sağlıklı bir havza su yönetimi açısından büyük önem arz etmektedir. Gölden çekilen yıllık su miktarının net olarak bilinmemesi, klasik bütçe analizi ile göle olan yeraltı suyu boşalım miktarının belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Bu amaçla Sapanca Havzası ve gölü için bütünleşik havza modeli benimsenmeli ve gölden çekilen su miktarının net şekilde ölçülmesinin sağlanması gerekmektedir. Ayrıca Sapanca Havzası içinde havzayı karakterize edecek alanlara meteoroloji istasyonlarının, karst akifer sistemleri içinde bulunan büyük debili kaynaklar için kaynak hidrograflarının ve havzanın güneyindeki ana dereler üzerine akım gözlem istasyonlarının kurulması hidrolojik çalışmaların sağlıklı yürütülmesi aşamasında büyük fayda sağlayacaktır.

Göl havzası içerisindeki yeraltı su kaynaklarından verimli bir şekilde faydalanılabilmesi ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından, kaynak sularının su bütçesinin düzenli olarak çıkarılması, özel içme suyu fabrikalarına yönelik denetimlerin arttırılması gerekmektedir.

Havzanın güneyindeki karst akifer sisteminin beslenim-boşalım mekanizması bölgenin aktif tektonizmasına da bağlı olarak çoğunlukla kırık hatlarının kontrolündedir. Bundan dolayı güncel yağışlar ile kırık hatları boyunca beslenen akifer sistemleri için hızlı ve dinamik bir beslenim boşalım ilişkisi gelişmiştir. Havzadaki yeraltı sularının güncel yağışlardan beslendiğini izotop verileri de desteklemektedir. Havzada hızlı beslenim-boşalım ilişkisine bağlı olarak fiziksel ve kimyasal parametrelerde de mevsimsel değişimleri görmek mümkündür. Kurak dönemde akifer sistemleri için beslenimin azalması, yüzey suyu ile oluşacak karışımın azalmasına ve yeraltı sularının dolaşım hızının yavaşlayarak akifer içinde su-kayaç arasındaki etkileşim süresinin artmasına neden olmaktadır. Karstik kaynakların EC, TDS, alkalinite ve toplam sertlik gibi parametrelerin kurak dönemde artış göstermesi bu durumu desteklemektedir.

Havzada yüksek kotlarda bulunan kaynakların bazıları düşük EC ve alkalinite değerlerine sahip iken bazıları da yüksek EC ve alkalinite değerlerine sahiptir. Havzada düşük kotlarda yer alan kaynaklarda ise yine yüksek EC ve alkalinite değerleri belirlenmiştir. Bu durum havzadaki kaynakların dolaşım hızının birbirinden farklı ve akiferin tek bir sistemden bağımsız, birbirleriyle bağlantılı veya bağlantılı olmayan parçalı sistemlerden oluştuğunu göstermektedir.

Sapanca Havzası'ndaki karstik kaynaklara ve alüvyal akifere ait yeraltı sularının majör anyon ve katyon içerikleri birbirine benzerlik göstermekle beraber, sular Ca-HCO_3 ve Ca-Mg-HCO_3 su fasiyesindedir. Bu durum rezervuar kayanın bileşimi (rekristalize kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı/mermer) ile paralellik göstermektedir.

Havzadaki karstik kaynaklara ait yeraltı suları toplam sertlik açısından değerlendirildiğinde çoğınlukla orta sert su ile sert su sınıfı arasında yer alırken alüvyal akifere ait sular orta sert su ile çok sert su sınıfı arasında yer almaktadır.

Alüvyal akiferdeki suların kimyası karstik akiferden boşalan kaynak sularının kimyasına benzerlik göstermektedir. Bu durum, alüvyal akiferlerin beslenimini de bölgede geniş alanlara dağılmış yüksek kotlardaki Triyas yaşlı metamorfik kayaç topluluğu içerisindeki mermer ve rekristalize kireçtaşlarını kat ederek gelen sulardan kaynaklanabileceğini işaret etmektedir.

Suların dolaşım yollarının uzunluğu ve akifer içerisinde yeraltı suyu hareketinin nispeten yavaş olması, yeraltı sularının akifer sistemi içinde daha uzun süreyle su kayaç ilişkisine maruz kalmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, alüvyon akifere ait yeraltı suları karstik akifer sularına göre majör anyon, katyon ve çözünmüş madde miktarı açısından daha fazla zenginleşmiştir.

Alüvyal akifer hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal açıdan irdelendiğinde, bölgenin alansal olarak homojen bir dağılım göstermediği heterojenliğin Maşukiye, Kurtköy-Kırkpınar ve Sapanca için 3 farklı bölgede olduğu belirlenmiştir. Özellikle Kırkpınar bölgesinde ki birimler yüksek geçirimliliğe (permeabilite) sahiptir. Bu bölgede dağ önüm beslenim oldukça etkilidir. Bölgede sürekli bir beslenimin olması su-kayaç etkileşim süresinin azalmasına ve diğer bölgelere göre fiziksel ve kimyasal parametreler açısından düşük konsantrasyonlar sergilemesine neden olmaktadır. Maşukiye'ye ve Sapanca'ya doğru gidildikçe birimlerin geçirgenliği azalmakla beraber su-kayaç etkileşiminin artmasına neden olmaktadır. Bu da alüvyal akiferdeki yeraltı sularının hidrojeokimyasal parametreler açısından nispeten daha yüksek konsantrasyonlara sahip olmasına neden olmaktadır.

Karstik kaynakların (Ky-6, Ky-17 ve Ky-25) bazılarında demir (Fe) konsantrasyonları, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği'nde belirtilen kimyasal parametreler açısından sınır değerin üzerinde çıkmıştır. Kaynak sularında lokal olarak gözlenen bu durum, kaynak sularının mermer ve rekristalize kireçtaşları dışında diğer metamorfik temel kayaçlar ile etkileşim içerisinde olduğunu göstermektedir.

Alüvyal akiferdeki örnekleme yapılan kuyuların çoğunda İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği'nde belirtilen kimyasal parametreler açısından bir kirlenme mevcut değildir. Noktasal olarak bazı kuyularda sınır değerlerin üzerinde NO^-_3, Fe ve As belirlenmiştir.

Alüvyal akiferde açılan kuyu sularında ölçülen nitrat değerleri genellikle içme suları için müsaade edilen limitlerin altındadır. Limit değerlerin üzerinde lokal olarak belirlenen birkaç kuyuda nitrat değerleri yeraltı sularının tarımsal faaliyetlerden kısmen kirlendiğini göstermektedir. Bölgede noktasal olarak limit değerin üzerinde çıkan demir konsantrasyonları ise jeojenik kökenli olmakla, muhtemelen metamorfik kayaç topluluğu içinde yer alan şiştleri işaret etmektedir. Sapanca Ovası'nda arsenik açısından limit değerin üzerinde noktasal olarak 2 kuyu belirlenmiştir. Bu kuyular, Maşukiye bölgesinde göle yakın, kil içeriği yüksek alüvyon birimler içinde açılmış kuyulardır. Bu arseniğin kökeni ise muhtemelen jeojeniktir.

Sapanca Ovası üzerinde özellikle Maşukiye ve Yanık bölgelerinde yoğun olarak tarımsal faaliyetler yapılmaktadır. Bu nedenle ovadaki suların sulama suyu kalitesi açısından değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Alüvyal akifer sistemindeki yeraltı suları Wilcox sınıflamasına göre her türlü sulamada kullanılabilen C_2S_1 su sınıfına girmektedir.

Karstik akiferden, alüvyal akifer ve göle doğru yeraltı sularının, dolaşım süresinin uzunluğuna bağlı olarak su-kayaç etkileşiminin artmasıyla, majör anyon ve katyon açısından zenginleşme gözlenmektedir.

Göl ve göl tabanından alınan gözenek ve sızıntı suları Ca-Mg-HCO_3 su fasiyesindedir. Göl tabanından piyezometreler ve seepage metreler ile alınan gözenek ve sızıntı suları kimyası, alüvyal akifer sistemindeki yeraltı suları ile karşılaştırıldığında majör anyon-katyon ve bazı metaller (Fe, As, Mn, Sn) açısından oldukça yüksek konsantrasyonlara sahiptir. Göl tabanından alınan gözenek ve sızıntı sularının mangan (~1,3-77 kat), demir (~39-141 kat) ve arsenik (~2,7-20 kat) konsantrasyonları ise limit değerlerin çok üzerindedir.

Bunun nedeni, alüvyal akiferden göle doğru alüvyon birimler içindeki ince taneli birimlere geçiş ile kil seviyelerinin artması ve bu ortamda gelişen oksidasyon zonları ile permeabilitesi düşük zonlar boyunca yeraltı suyu hızının azalması su-kayaç arasındaki etkileşimin artmasına ve sonuç olarak gözenek ile sızıntı sularının bazı elementler açısından zenginleşmesine sebep olmaktadır.

Karst akifer ve alüvyal akifer sistemindeki yeraltı suları ile göl ve göl tabanından alınan gözenek ve sızıntı suları Piper diyagramında aynı bölgede toplanmaktadır. Sonuç olarak Sapanca Gölü'nün güneyinde ki akifer sistemleri ve göl tabanından alınan gözenek sularının hidrojeokimyasal olarak değerlendirilmesi sonucu birbirleriyle ilişkili olan benzer kökenli sular oldukları belirlenmiştir.

Havzadaki yeraltı suları çevresel izotoplar açısından değerlendirildiğinde Akdeniz ve Marmara su doğrusu üzerinde birbirine yakın konumda bulunmaktadır. Bu veriler bölgedeki yeraltı sularının aynı tür yağışlardan beslendiğini işaret etmektedir. Ayrıca gözenek suyu örneklerinin alüvyal akifer sistemi ile benzer özellik gösterdiği, dolaşım süresinin uzunluğu ile doğru orantılı su-kayaç ilişkisinin artmasına bağlı olarak bu suların karstik akifer sistemine göre Oksijen-18'ce daha zenginleştiği gözlenmektedir. Göl suyu ise buharlaşmaya bağlı olarak Oksijen-18 açısından pozitif yönde bir zenginleşme göstermektedir.

Havzadaki yeraltı suyu örneklerinin Trityum değerleri 5,2 ile 8,7 TU arasında değişmektedir. Havzada akifer sistemleri içindeki yeraltı suları güncel yağışlarla (5-10 yıl) beslenen genel anlamda hızlı ve dinamik bir beslenim- boşalım özelliği gösteren sığ dolaşımlı sulardır.

Oksijen18-Trityum verilerine göre akifer sistemleri ve göl tabanından (gözenek) alınan sular kendi içinde gruplaşmaktadır. Alüvyal akifer ve göl tabanından (gözenek) alınan yeraltı suyu örnekleri karstik akifer sisteminden alınan örneklere göre nispeten daha düşük kotlardan beslenmektedir. Karstik akifer ve alüvyal akiferdeki yeraltı sularının dolaşım süreleri ise birbirine yakındır. Göl tabanından alınan yeraltı sularının (gözenek) dolaşımı alüvyon birimlerin geçirimlilikleri düşük killi seviyeleri boyunca hareket etmesi nedeniyle, akifer sistemlerinden alınan sulara (kaynak, kuyu) göre nispeten daha yavaş ve uzun bir dolaşıma sahip olduğunu işaret etmektedir.

Havzada bulunan karst ve alüvyal akifer sistemindeki yeraltı suları, kalış süreleri açısından incelendiğinde, çok genel olarak alüvyal akiferdeki suların kalış süresinin karst akiferindeki yeraltı sularına göre nispeten daha fazla olduğu belirlenmiştir. Havzadaki karst akifer sistemi yüksek Trityum, düşük klor değerlerine sahiptir. Bu durum karst akifer sistemindeki kaynak sularının akiferde kalış süresinin daha kısa

olduğunu ve buna bağlı olarak daha hızlı bir beslenim-boşalım karakteri sergilediğine işaret etmektedir. Alüvyal akifer ve göl taban suyundan alınan gözenek sularının trityum değerlerinde büyük farklılık gözlenmezken, genel olarak Cl^- değerleri açısından akış yönünde (alüvyal akiferden göle doğru) bir zenginleşme gözlenmektedir.

Hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal çalışmalar sonucunda karstik akifer, alüvyal akifer ve göl arasında doğrudan bir beslenim–boşalım ilişkisi olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, bölgedeki karstik kaynakların dereleri, ovadaki akiferi ve gölü beslediği bilindiğine göre havzadaki ekolojik dengenin bozulmaması için can suyu olarak ihtiyaç duyulan su miktarının belirlenerek ekosisteme bırakılması gerekmektedir.

Göl drenaj alanındaki akifer sistemlerinin sürdürülebilir yönetimi açısından yeraltı sularının kalitesinin de korunması önemlidir. Göl havzasındaki karst akifer sisteminin beslenimin ve akifer içerisindeki yeraltı suyu dolaşımının çok hızlı olması bu tür sistemlerin antropojenik etkenlerden kirlenme riskini arttırmaktadır. Bu tür akifer sistemlerin beslenme alanları, akiferlerinin kirlenme risklerinin azaltılması açısından koruma altına alınması gereken bölgeleridir. Sapanca Göl Havzası'nda karstik kaynakların beslenme alanını oluşturan ortalama yükseklikleri yaklaşık 1200 m civarında olan Soğucak Yayla, Kuzu Yayla ve Kartepe gibi geniş düzlükler, yüksek geçirimliliğe sahip karstik yapılar (dolinler, su yutanlar vb) gibi yüzey sistemleri ile akiferin bağlantısını sağlamaktadır. Karst akiferinin su kalitesinin korunması açısından bu alanların koruma alanı olarak ilan edilmesi gerekmektedir.

Göl beslenme alanındaki alüvyal akifer sistemi üzerinde yerleşim ve tarım alanları yaygındır. Alüvyon akiferine ait yeraltı suları özellikle Maşukiye bölgesinde daha çok tarım, balık üretme tesisleri ve sulama amacıyla kullanılmaktadır. Sapanca ve Kırkpınar bölgesinde ise kurak dönemde kaynakların yetersiz kaldığı aylarda bölgenin içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla takviye kaynak olarak kullanılmaktadır.

Havzada alüvyon akiferi içerisinde açılmış (siteler, petrol istasyonları, balık üretme çiflitkleri, konutlar vb) çok sayıda ruhsatsız kuyu yer almaktadır. Alüvyal akiferinin su bütçesinin yönetilebilmesi için akiferden yapılan kaçak su çekimlerinin denetlenmesi ve kontrol altına alınması gereklidir. Maşukiye bölgesinde tarımın daha yoğun yapıldığı alanlarda nitrat açısından (NO_3^-) bir zenginleşme görülmektedir ancak bu durum şu an için bir sorun teşkil etmemektedir. Bölgede ki yeraltı sularının su kalitesi içme ve kullanma suyu açısından sınır değerler içindedir. Ancak Maşukiye ve Sapanca'daki bazı kuyularda Fe ve As değerleri limit değerlerin üzerindedir.

KAYNAKLAR

Açıkgöz S., Sapanca Gölünü Besleyen Derelerin Hidrojeokimyasal İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2008, 232778.

Adasu, Sapanca Gölü Çevre Koruma Projesine Esas Bilgiler, *T.C. Adapazarı Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü Raporu*, 1, 2-7, 2003.

Aiuppa A., Belomo S., Brusca L., D'Alessandro W., Federico C., Natural and Anthropogenic Factors Affecting Grounwater Quality of an Active Volcano (Mt. Etna, Italy), *Applied Geochemistry,* 2003, **18**, 863-882.

Akartuna M., *Armutlu Yarımadasının Jeolojisi,* 1. Baskı, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Monografileri, İstanbul, 1968.

Akbayram K., İstanbul ile Sakarya Zonları Arasındaki Pontid-İçi Kenedinin Armutlu Yarımadası Doğusundaki Evrimi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011, 333089.

Alexander M. D., Caissie D., Variability and Comparison of Hyporheic Water Temperatures and Seepage Fluxes in a Small Atlantic Salmon Stream, *Ground Water*, 2003, **41**, 72-82.

Altuğ G., Yardımcı C. H., Okgerman H., Tarkan S.A., Level of Bacterial Metabolic Activity, Indicator (Coliform, Escherichiacoli) and Pathogen Bacteria (Salmonellaspp.) in the Sapanca Lake, Turkey, *Journal of the Black Sea/ Mediterranean Environment*, 2006, **12**(1), 67-69.

World Health Organization (WHO), *Guidelines for Drinking Water Quality Health Criteria and Other Supporting Information*, 2nd., *WHO Publ.*, Geneva, Switzerland, 1984.

Appello C. A. J., Postma D., *Geochemistry, Groundwater and Pollution*, 2nd ed., Balkema, Rotterdam, 1996.

EPA, *Arsenic Treatment Technologies for Soil, Waste, and Water*, 1st., U.S. EPA/National Service Center for Environmental Publications, Cincinnati, U.S. EPA. 2002.

Artyüz İ., Sapanca Balık Üretme ve Islah İstasyonu Çalışmaları, *Sapanca 83 Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 1983.

Ay M., Sapanca Gölü Havzasının Coğrafi Etüdü, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2012, 315804.

Aydın H., Harmanköy-Beyyayla (Bilecik) Karst Sisteminin Morfoloji-Hidrojeolojisi İlişkileri Açısından İncelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2005, 355658.

Bakan G., Sapanca Gölü Ekosistemi Çalışması: Sediman Karakterizasyonu ve Su Kalite Modellemesi, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1995, 38561.

Barbieri M., Boschetti T., Petitta M., Tallini M., Stable Isotope (^{2}H,^{18}O and $^{87}Sr/^{86}Sr$) and Hydrochemistry Monitoring for Groundwater Hydrodynamics Analysis in a Karst Aquifer (Gran Sasso, Central Italy), *Applied Geochemistry*, 2005, **20**, 2063-2081.

Bargu S., Sapanca Gölü Çevresindeki Orta Pleyistosen Çökellerinin Stratigrafisi Yakın Dolayındaki Çökellerle Karşılaştırması ve Tektonik Özellikleri, *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi Jeoloji Eğitiminde 60. Yıl Özel Sayısı*, 1992, **8**, 1-2-3.

Baykal B. B., Gönenç I. E., Meriç M., Tanık A., Tunay O., An Alternative Approach for Evaluation of Lake Water Quality: Lake Sapanca-A Case From Turkey, *Water Sci. Tech.*,1996, **34**, 73-81.

Baykal F., *Kandıra-Adapazarı Bölgesinin Jeolojik Etüdü*. 1. Baskı, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1940.

Bayrak A., Sapanca Gölü'nün Hidrojeolojik Hidrolojik ve Hidrolik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Su Bütçesinin Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2008, 216215.

Bilgin T., *Adapazarı Ovası ve Sapanca Oluğunun Morfolojisi ve Kuaternerdeki Jeomorfolojik Tekâmülü*, 1. Baskı, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları, İstanbul, 1984.

Bilgin T., *Samanlı Dağları Coğrafi Etüdü*, , 1. Baskı, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları, 1967.

Bissen M., Frimmel F. H., Arsenic-A review Part I, Occurrence, Toxicity, Speciation, *Mobility. Acta Hydrochim. Hydrobiol.*, 2003, **1**, 9-18.

Bouchard D. C., Williams M. K., Surampalli R. Y., Nitrate Contamination of Groundwater Sources and Potential Health Effects, *J. Am. Water Work Assoc.*, 1992, **84**, 85-90.

Bozcu M., Gevye (Adapazarı ili) Sapanca Dolayının Jeolojik ve Petrolojik İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1992, Yayınlanmamış.

Cey E. E., Rudolph D. L., Parkin G. W., Aravena R., Quantifying Groundwater Discharge to a Small Perennial Stream in Southern Ontario, Canada, *Journal of Hydrology*, 1998, **210**, 21-37.

Ceylan M. A., Sapanca Göl Havzasının Yağış Özellikleri ve Rölyef, *Türk Coğrafya Dergisi*, 1999, **34**, 643-659.

Ceylan M. A., Sapanca Gölünün Hidrolojik Etüdü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 1990, 10169.

Clark I., Fritz P., *Environmental Isotopes in Hydrogeology*, 1st ed., Lewis Pubishers, Chicago, 1967.

Cooper H. H., Jacob C. E., A Generalized Graphical Method for Evaluating Formation Constants and Summarizing Well Field History, *Am. Geophys. Union Trans.*, 1946, **27**, 526-534.

Craig H., Isotopic Variations In Meteoric Waters, *Science*, 1961, **133**, 1702-1703.

Çakır H., Sapanca Gölü Su Bütçesinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2008, 216223.

Çakır M., Sapanca Gölü'nde Yoğun Yapılaşmadan Kaynaklanan Evsel Atık Su Sanayi Atık Su ve Yüzeysel Akış Sularına İlişkin Kontrol Teknolojilerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2010, 274686.

Çifter C., Sayın M., İzotopların Hidrolojide Kullanılması, *Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu*, Adana, Türkiye, 21-25 Ekim 2002.

Dansgaard W., Stable Isotopes in Precipitation, *Tellus*, 1964, **4**, 436-468.

Demir S., Uzun Vadeli Su Temininde Meteorolojik Faktörlerin Sapanca Gölü Su Kalitesine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2012, 304720.

DMİ, Sapanca Meteoroloji İstasyonu Meteorolojik Verileri, *Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü*, 1, 1-10, 2015.

Doğan B., Yuvacık (İzmit)-Sapanca (Adapazarı) Arası Bölgenin Jeolojisi ve Tektonik Özellikleri, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 1998, 78211.

Downing J. A., Perterka J. J., The Relationship of Rainfall and Lake Groundwater Seepage, *Limnol. Oceanogr*., 1978, **23**, 821-825.

Drever J. I., *The Geochemistry of Natural Waters*, 3rd ed.. Prentice Hall, New Jersey, 1996.

DSİ, İzmit-Sapanca-Gölcük Civarının Hidrojeolojik Etüd Raporu, *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü*, 1-30, 1963.

DSİ, İzmit-Sapanca-Gölcük Ovalarına Ait Hidrojeolojik Seyahat Raporu, *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü* 1-15, 1965.

DSİ, Sapanca Gölü Hidrolojisi Özet Raporu, *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü*, 1-10, 1982.

DSİ, Sapanca Gölü Hidrolojisi, *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri III. Bölge Müdürlüğü*, 1-20, 1983.

DSİ, Sapanca Gölü Kirlilik Araştırması, *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü*, 2-7, 1984.

Duman F., Aksoy A., Demirsezen D., Seasonal Variability of Heavy Metal Surface Sediment of Lake Sapanca, Turkey, *Environ Monit. Asses*., 2006a, **133**, 277-283.

Duman F.,Obali O., Demirsezen D., Seasonal Changes of Metal Accumulation and Distribution in Shining Pondweed (Potamogeton Lucens), *Chemosphere*, 2006a, **65**, 2145-2151.

Dündar M. Ş., ve diğ., Sapanca Gölüne Akan Derelerdeki Bazı Eser Elementlerin 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi Öncesi ve Sonrası Karşılaştırmalı Analizi, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2003, **4**(2), 205-210.

Elmas A., Late Cenozoic Tectonics and Stratigraphy of the Northwest Anatolia: The Effects of the North Anatolian Fault to the Region, *International Journal of the Earth Sciences*, 2003, **92**, 380-396.

Emre, Ö., Erkal T., Tchepalyga A., Kazancı N., Keçer M., Ünay E., Doğu Marmara Bölgesinin Neojen-Kuvaternerdeki Evrimi, *MTA Dergisi*, 1998, **120**, 233-258.

Erickson D. R., The Hydrogeology of Williams Lake, Minnesota With Special Emphasis on Quantification of Littoral Groundwater Contributions Using Seepage Meters and Wells., M.S. Thesis, University of Minnesota, USA, 1979.

Erinç S., Sapanca Gölünün Derinlik Haritası ve Morfometrisi, *Türk Coğrafya Dergisi*, 1949, 139-141.

Ertürk O., Sapanca Gölünün Jeolojisi Dip Sedimanlarının Minerolojik ve Jeokimyasal İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1994, 34538.

Esenli V., Sapanca Gölü ve Havzasının Hidrojeokimyası ile Dip Sedimanlarının Minerolojik ve Jeokimyasal İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1995, 46516.

Faure G., *Principles of Isotope Geology*, 2nd edition, John Wiley and Sons, New York, 1986.

Fellows C. R., Brezonik P. L., Seepage Flow into Florida Lakes, *Water Resources Bulletin*, 1980, **16**(4), 635-641.

Gönenç İ. E., Çetiner A, Eroskay O., Eruz E., Baykal B. B., Öztürk İ., İncecik S., Tanık A., İnce O., Kefli E., Öktem Y., Meriç M., Doğanlı E., Gürel M., İçme Suyu Kaynağı olarak Sapanca Gölünün Korunması Projesi, *TC Çevre Bakanlığı Çevre Koruma Genel Müdürlüğü*, 1, 1-10, 1994.

Güleç N., Hilton D. R., Mutlu H., Helium Isotope Variations in Turkey: Relationship to Tectonics, Volcanism and Recent Seismic Activities, *Chemical Geology*, 2002, **187**, 129-142.

Güngördü M., *Marmara Bölgesi'nin Bitki Coğrafyası*, 1. Baskı, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları, İstanbul, 1999.

Gürbüz A., Gürer Ö. F., Anthropogenic Affect on Lake Sedimentation Process: A Case Study From Lake Sapanca, NW Turkey, *Environ. Geol*., 2008, **56**, 299-307.

Gürbüz A., Gürer Ö. F., Kuzey Anadolu Fayının Sapanca Göl Kesiminde Morfotektonik Analizleri, *ATAG 10. Bildiri Özleri Kitabı*, Dokuz Eylül Üniversitesi İzmir, 2006.

Gürbüz A., Gürer Ö. F., Sapanca Gölü'nün Oluşumu Beslenme Havzasının Hidrolojisi Jeolojisi ve Depremselliği, Editörler: Okgerman H., Altuğ G., *Sapanca Gölü'ne Bilimsel Açıdan Bakış*, Türk Deniz Araştırmaları Vakfı Tüdav Yayınları, 1, Beykoz, İstanbul, 13-25, 2008..

Gürbüz A., Gürer Ö. F., Tectonic Geomorphology of the North Anatolian Fault Zone in the Lake Sapanca Basin (Eastern Marmara Region, Turkey), *Geosciences Journal*, 2008, **12**(3), 215-225.

Güven F., Sakaryabaşı Kaynaklarının Çevresel İzotop İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1996, 55370.

Hem J. D., *Study and Interpratation of the Chemical Characteristics of Natural Water*, 3rd ed., U.S. Geological Survey, Washington DC, 1992.

Herece E., Akay E., *Kuzey Anadolu Fay Atlası (KAF),* 2.Baskı, Maden Tetkik ve Arama Yayınları, Ankara, 2003.

IAEA, *Stable Istope Hydrology, Deuterium and Oxygen-18 In The Water Cycle Technical Report Series,*1st ed., IAEA, Austria, 1981.

Israelson O. W., Reeve R. C., Canal Lining Experiments in the Delta Area, Utah. *Utah Agricultural Experimental Station Bulletin*, 1944, **313**, 15-35.

İnandık H., Adapazarı Ovası ve Çevresinin Jeomorfolojik Etüdü, *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, 1952, **3**, 107-138.

Sağlık Bakanlığı (Türkiye Halk Sağlığı Kurumu), İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, *Resmi Gazete,* 28580, 1-10, 2013.

Jain A., Raven K. P., Loeppert R. H., Arsenite and Arsenate Adsorption on Ferrihydrite, Surface Charge Reduction and Net On-Release Stoichiometry. *Env. Sci. & Tech.*, 1999, **33**(8), 1179-1184.

Jakucs L., Neue Methoden der Höhlenforschung in Ungarn und ihre Ergebnisse, *Auffinden von Höhlen aus Indizien, Hydrologie*, 1959, **10**(4), 88-98.

John P. H., Lock M. A., The Spatial Distribution of Groundwater Discharge into the Littoral Zone of a New Zealand Lake, *Journal of Hydrology* , 1977, **33**, 391-395.

Kaçmaz M., Sapanca Gölü Havzası'nda Arazi Kullanımı ve Mekânsal Değişim, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2010, 264459.

Karcı Y., İstanbul İline İçme-Kullanma Suyu Temini Amacıyla Sapanca Gölü Havzasının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1997, 66453.

Ketin İ., San Andreas ve Kuzey Anadolu Fayları Arasında Bir Karşılaştırma, *T.J.K Bülteni*, 1976, **19**, 149-154.

Lahn E., Türkiye Göllerinin Jeoloji ve Jeomorfolojisi Hakkında Bir Etüd, *MTA Enstitüsü Yayın Serisi B*, 1948, **12**.

Langmuir D., *Aqueos Environmental Geochemistry*, 1st ed., Prentice-Hall Publication, New Jersey, 1997.

Lee D. R., A Device for Measuring Seepage Flux in Lakes and Estuaries, *Limnology and Oceanography*, 1977, **22**(1) 140-147.

Lee D. R., Cherry J. A., A Field Exercise on Groundwater Flow Using Seepage Meters and Mini-Piezometers, *Journal of Geological Education*, 1978, **27**, 6-20.

Macit K. A., Sapanca Gölünün Mikrobiyolojik ve Kimyasal Kirlilik Düzeylerinin Saptanması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 275956.

Mandal B. K., Suzuki K. T., Arsenic Round the World: A Review, *Talanta*, 2002, **58** (1), 201-235.

Manning A. H., Solomon D. K., Using Noble Gases to Investigate Mountain-Front Recharge, *Journal of Hydrology*, 2003, **275**, 194-207.

Matschullat J., Arsenic in the Geosphere-a Review. *Sci. Total Env.*, 2000, **249**, 297-312.

McBride M. S., Pfannkuch H. O., The Distribution of Seepage Within Lakebeds, *Journal of Research US Geological Survey*, 1975, **3**(5), 505-512.

McNeely R. N., Neimanis V. P., Dwyer L., *Water Quality Sourcebook-A Guide to Water Quality Parameters*, Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Ottowa, Canada, 1979.

Mook W.G., *Environmental Isotopes In The Hydrological Principles and Applications*, 1st ed., IAEA, Vienna, 2001.

Moore K., Treatment of Arsenic Contaminated Groundwater Using Oxidation and Membrane Filtration, Master Thesis, University of Waterloo, Applied Science in Civil Engineering, Ontorio, Canada, 2005.

Numann W., Anadolu'nun Muhtelif Göllerinde Limnolojik ve Balıkçılık İlmi Bakımından Araştırmalar ve Bu Göllerde Yaşayan Sazanlar Hakkında Özel Bir Etüd, *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Hidrobiyoloji Araştırma Enstitüsü Yayınları 7*, 1958.

Okay A. I., Şengör A. M. C., Görür N., Kinematic History of the Opening of the Black Sea and its Effect on the Surrounding Regions, *Geology*, 1994, **22**, 267-270.

Okay A. I., Tüysüz O., Tethyan Sutures of Northern Turkey. In: Durand, Jolivet L., Hovarth F., Seranne M., The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alphine Orogen, *Geological Society of London Special Publication*, 1999, **156**, 475-515.

Okay A. İ., Tectonic Units and Sutures in the Pontids, Northern Turkey, Tectonic Evolution of the Thetyan Region, *Kluwer Academic Publishers*, 1989, 109-116.

Okgerman H., Gülşen A., Sapanca *Gölü'ne Bilimsel Açıdan Bakış*, 1. Baskı., İstanbul Türk Deniz Araştırmaları Vakfı Yayınları, İstanbul, 2008.

Oktaş S., İyigün E., Gündüz B., Koçbuğ Z., Sapanca Havzası'nda 1986 ve 1999 Yılı Su Kalite Değerlendirmeleri, *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü*, 2-34, 2002.

Oktaş S., Kahramanoğlu E., İyigün A. E., Su Kalite Kontrolleri ve Örnek Çalışmalar: Sapanca Gölü ve Drenaj Alanı, *DSİ Yayınları*, Ankara, 228-230, 1989.

Ongan T., Güney Marmara Bölgesi İç Su Ürünleri Geliştirme ve Su Kaynaklarının Envanter Projesi, *İstanbul Üniversitesi Rektörlüğü Hidrobiyoloji Araştırma Enstitüsü*, 1, 1982.

Öktem Y., Sapanca Gölü Su Kalitesi Yönetimi için Egölem Modeli, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1996, 55636.

Özarslan T., *Hidrobiyoloji Araştırma Enstitüsü'nün 1950-1960 Döneminde Yapmış Olduğu Araştırmalar ve Bunlardan Elde Edilen Sonuçlar*, 1. Baskı, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Hidrobiyoloji Araştırma Enstitüsü, İstanbul, 1974.

Piper A. M., *A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses*, 1st ed.,*U.S. Geol. Surv.*, Washington DC, 1953.

Quinlan J. F., Ewers R. O., Groundwater Flow in Limestone Terranes; Strategy Raionale and Procedure for Reliable and Efficien Monitoring of Groundwater Quality in Karst Areas, *Fifth National Symposium on Aquifer Restoration and Groundwater Monitoring*, Ohio, USA, 1985.

Risch C., Der Sabandjaseeund Seine Umgebung, *Petermanns Mitteilungen*, 1909, **55**, 1-10.

Sadiq M., Alam I., Arsenic Chemistry in a Groundwater Aquifer From the Eastern Province of Saudi Arabia, *Water, Air & Soil Poll.*, 2004, **89**, 67-76.

Salihoğlu I., DSİ'nin Su Kalitesine İlişkin Çalışmaları ve Göllerde Kalite Araştırması, *Göller Bölgesi Tatlı Su Kaynaklarının Korunması ve Çevre Sorunları Sempozyumu*, Isparta, Türkiye, 1991.

Salinet L., *Sapanca Güneyinin Maden Zuhurları*, 1. Baskı, MTA Yayınları, Ankara, 1946.

Sarı İ., Kurt M., *Adapazarı-Sapanca-Geyve-Akyazı Çevresinin Fe, Mn Ağırlıklı Metalik Madenler Prospeksiyonu*, 1. Baskı, MTA Yayınları, Ankara, 1975.

Schincariol R. A., McNeil J. D., Errors With Small Volume Elastic Seepage Meter bags., *Ground Water*, 2002, **40**(6), 649-651.

Schwab M. J., Neumann F., Litt T., Negendank J. F. W., Stein M., Paleoecological Investigations Based on Holocene Lacustrine Sediments From the Crater Lake BirkatRam Golan Heights (Near East), *Quaternary Science Reviews*, 2004, **23**, 1723-1731.

Sensoy S., Demircan M., Ulupınar Y., Balta İ., Türkiye İklimi Sınıflandırmaları, *Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü*, 1, 1-10, 2008.

Stumm W., Morgan J. J., *Aquatic Chemistry: Introduction Emphasizing Equilibria in Natural Waters*, 2nd ed., Wiley, New York, 1981.

Sümer B., Sapanca Gölü Su Kalitesi Durumunun Saptanması, *TÜBİTAK*, 4, 1-10, 1980.

Şahin S. K., Yıldırım M. Z., The Mollusk Fauna of Lake Sapanca (Turkey: Marmara) and Some Physico-Chemical Parameters of Their Abundance, *Turk J Zool*, *2*007, **31**, 47-52.

Şahinci, A., *Doğal Suların Jeokimyası*, 1. Baskı, Reform Matbaası, İzmir, 1991.

Şengör A. M. C., The North Anatolian Transform Fault: It is Age Offset and Tectonic Significance, *Jour. Geol. Soc*., 1979, **136**, 269-282.

Şengör A. M. C., Yılmaz Y., Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach, *Tectonophysics*, 1981, **75**, 181-241.

Şişman İ., Sapanca Bölgesinde Tem Otoyolundan Kaynaklanan Ağır Metal Kirliliği, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 1999, Yayınlanmamış.

Tanık A., Baykal B., Gönenç E., Meriç S., Öktem Y., Effect and Control Of Pollution in Catchments Area of Lake Sapanca, Turkey, *Environmental Management*, 1998, **22**(3) 407-414.

Timur E., Aksay A., Adapazarı G24 Paftasının 1.100.000 Ölçekli Jeolojik Etüdü, *Maden Tetkik ve Arama (MTA),* 2002, **31**, 19.

Tuğrul S., Morkoç E., Sapanca Gölü'nün Limnolojik Özellikleri, *Doğa-Tr.J. of Engineering and Environmental Sci*., 1991, **15**, 256-282.

TÜBİTAK, Sapanca Gölü'nün Öncelikli Kirlilik Kaynaklarına Özgü Kontrol Teknolojilerinin Araştırılıp Geliştirilerek Göl Havzası İçin Uyarlanması, *TÜBİTAK Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projelerini Destekleme Programı*, 107G013, 1-50, 2010.

URL-1: www.ctue.mam.tubitak.gov.tr, (Ziyaret tarihi: 10 Mayıs 2015)

URL-2: www.science.uottowa.ca/~eih, (Ziyaret tarihi: 04 Haziran 2015)

USGS., Shuttle Radar Topography Mission, U.S.Geological Survey, http://www.cgiar-csi.org/data/srtm-90m-digital-elevation-database-v4-1, (Ziyaret tarihi: 12 Şubat 2015)

Uslu O., Türkman A., Su Kirliliği ve Kontrolü, *Çevre Genel Md. Yay. Eğitim Dizisi*,1, 30-50, 1987.

Ünsal N., Çelik M., Afşin M., Seyfe Kaynağı (Kırşehir) Dolayındaki Yeraltısularının Kimyasal ve İzotopik Özellikleriyle Kökeninin Araştırılması, *30. Yıl Sempozyumu Bildirileri*, Trabzon, Türkiye, 1996.

Velioğlu M., Sapanca Gölü İle İlgili Kirlilik Araştırmaları ve Koruma ile İlgili Öneriler, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 1998, 88175.

Wang S., Mulligan C. N., Occurrence of Arsenic Contamination in Canada, Sources, Behaviour and Distribution. *Sci. Tot. Env.*, 2006, **366**, 701- 721.

White W. B., Conceptual Models for Karstic Aquifers, *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers*, 2003, **5**, 11-16.

Wilcox L.V., The Quality of Water for Irrigation Use, *US Department of Agriculture Tech., Bull.*, 1948, **962**, 1-40.

Yalçın N., Saimbeyli (Adana) Obruk Şelalesi Karst Hidrojeolojisi İncelemesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2010, 266143.

Yalçın N., Sevinç V., Sapanca Gölü'ne Besi Maddesi Yüklenmesi ve Gölün Trafik Durumu, *Tr J. of Engineering and Environmental*, Sci.,1993, **17**, 289-295.

Yalçın N., Sevinç V., Heavy Metal Content of Lake Sapanca, *Turkish Journal of Chemistry*, 2001, **25**, 521-525.

Yaltırak C., Zapçı C., Ülgen B., Franz S., Akçer Ö. S., Sakınç M., Çağatay N., Alpar B., Öztürk K., Ünlü S., Discussion: A Critique of Possible Waterways Between The Marmara Sea and The Black Sea In The Late Quaternary: Evidence From Ostracod and Foraminifer Assemblages In Lakes Iznik and Sapanca, *Geo-Marine Letter*, 2012, **32**, 262-274.

Yıldırım H., Kuzey Anadolu Fay Sisteminin Sapanca Gölü Geçişi ve Yapısal Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2002, 119625.

Yılmaz Y., Bilecik-Söğüt Dolayındaki Eski Temel Karmaşığı'nın Petrojenetik Evrimi, Doçentlik Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstanbul, 1977, Yayınlanmamış.

Yılmaz Y., Genç Ş.C., Yiğitbaş E., Bozcu M., Yılmaz K., Kuzeybatı Anadolu'da Geç Kretase Yaşlı Kıta Kenarının Jeolojik Evrimi, *Türkiye 10. Petrol Kongresi*, Ankara, 1994.

Yılmaz Y., Gürpınar O., Genç Ş. Ç., Bozcu M., Yılmaz K., Şeker H., Yiğitbaş E., Keskin M., Armutlu Yarımadası ve Dolayının Jeolojisi, *TPAO*, 2796, 20-50, 1990.

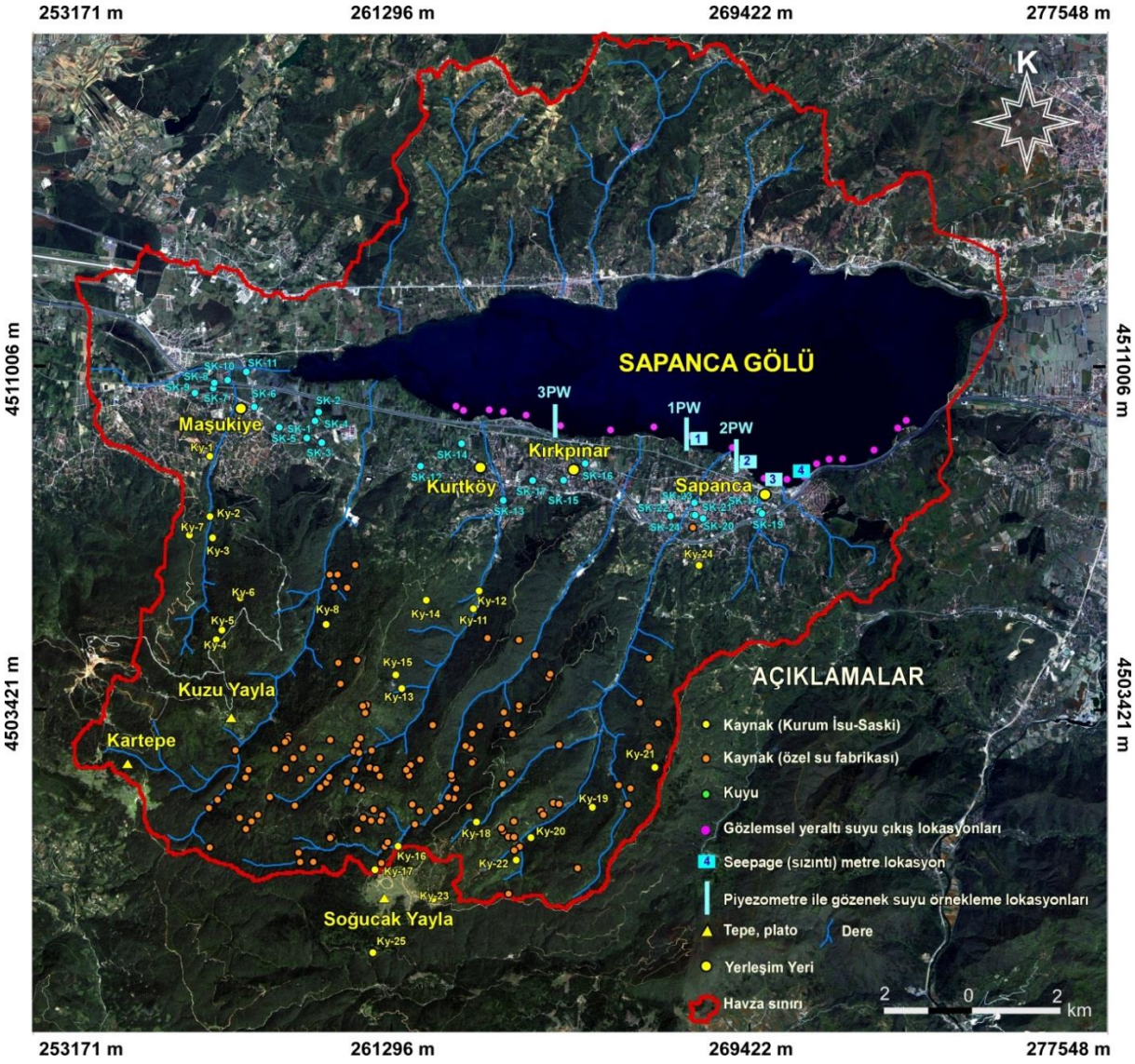
Yiğit V., Müftügil N., Sapanca Gölü Su Kirliliği ve Besin Durumu Üzerine Bir Araştırma, *TÜBİTAK Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü Beslenme ve Gıda Teknolojisi*, 78, 1984.

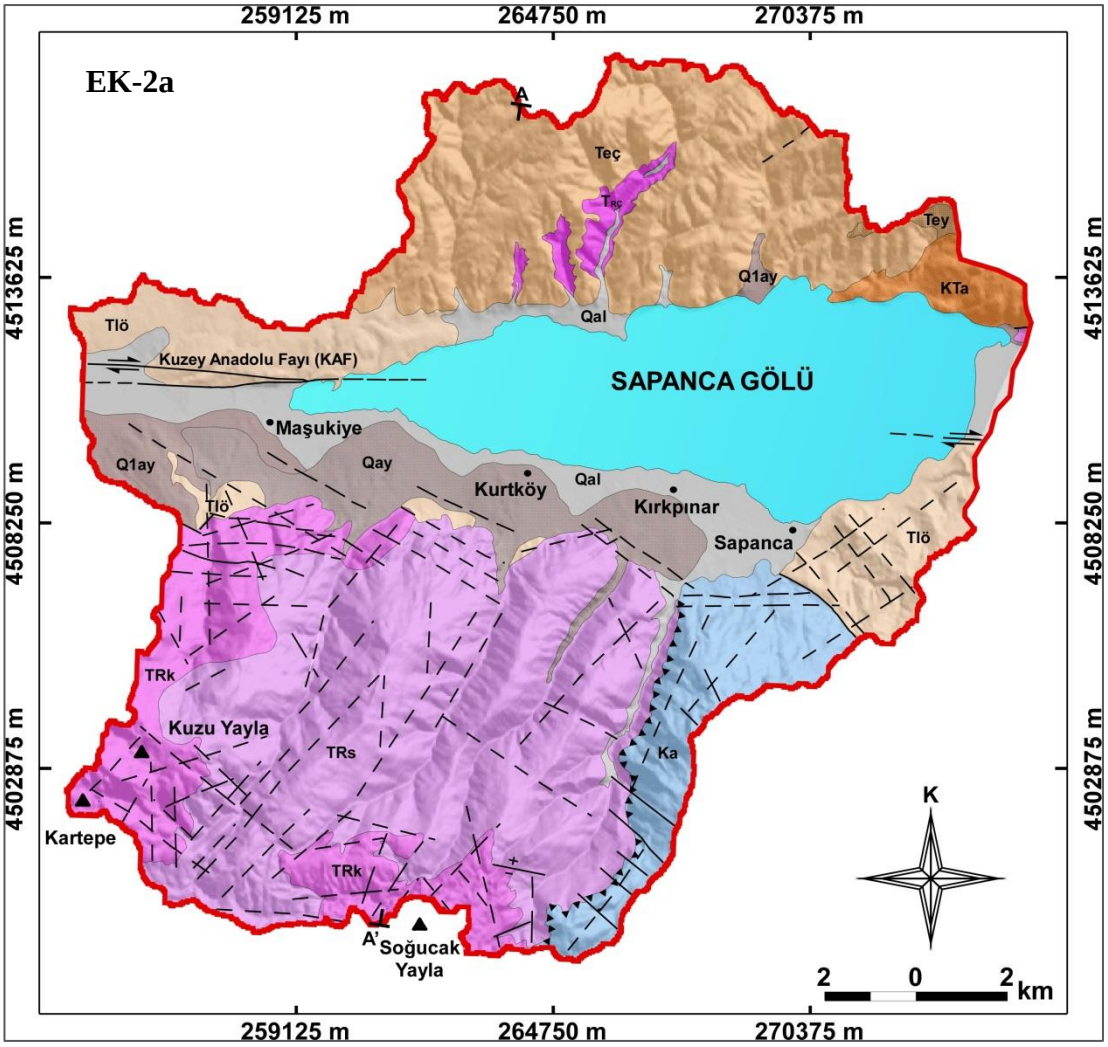
Yiğitbaş E., Elmas A., Sefunç A., Özer N., Major Neotectonic Features of Eastern Marmara Region, Turkey: Development of The Adapazarı-Karasu Corridor and Its Tectonic Signifiance, *Geological Journal*, 2004, **39**(2)**,** 179-198.

Yücetaş N., Sapanca Gölünde Fitoplanktonun Yıllık Tezahürleri ve Yayılışları, *TÜBİTAK V. Bilim Kongresi Vet. ve Hayv. Arş Gr. Tebliğ Özetleri*, Ankara, 29 Eylül-2 Ekim 1975.

EKLER

EK-1


253171 m
261296 m
269422 m
277548 m
4511006 m
4503421 m
K
SAPANCA GÖLÜ
3PW
1PW
2PW
Maşukiye
Kırkpınar
Kurtköy
Sapanca
Kuzu Yayla
Kartepe
Soğucak Yayla
AÇIKLAMALAR
Kaynak (Kurum İsu-Saski)
Kaynak (özel su fabrikası)
Kuyu
Gözlemsel yeraltı suyu çıkış lokasyonları
Seepage (sızıntı) metre lokasyon
Piyezometre ile gözenek suyu örnekleme lokasyonları
Tepe, plato
Dere
Yerleşim Yeri
Havza sınırı
2 0 2 km



AÇIKLAMALAR

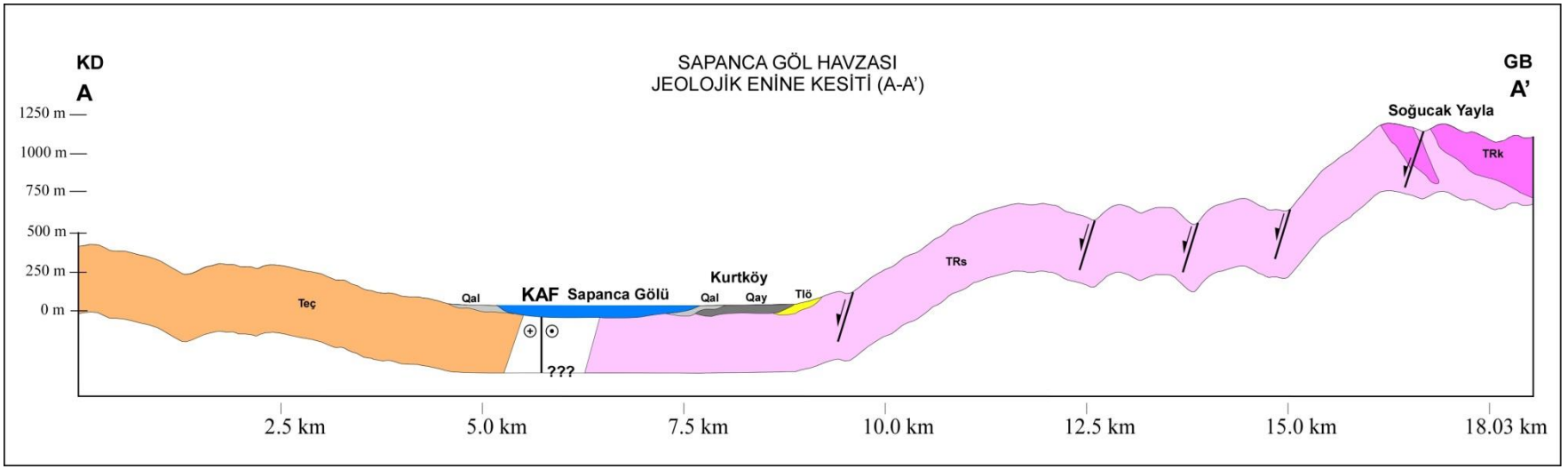
SENOZOYİK	Kuvaterner	Qal	Alüvyon
		Qay	Alüvyon Yelpazesi
		Q1ay	Eski Alüvyon Yelpazesi
	Pliyosen	Tlö	Örencik Formasyonu: Gevşek tutturulumuş konglomera, kumtaşı, silttaşı ardalanması
	Alt Orta Eosen	Teç	Çaycuma Formasyonu: Kumtaşı, şeyl, konglomera ardalanması
		Tey	Yığılca Formasyonu: Aglomera, tüf, andezit, bazalt, volkanojenik kumtaşı
		KTa	Akveren Formasyonu: Yarı pelajik kireçtaşı, şeyl, kalkarenit, kumtaşı, konglomera
MESOZOYİK	Alt Kretase	Ka	Akçay Metamorfitleri: Metakumtaşı, metaçamurtaşı, şist, sleyt, fillat, serpantinit
	Triyas	TRk	Keltepe Mermeri: Masif mermer
		TRç	Çakraz Formasyonu: Çamurtaşı, kumtaşı, konglomera
		TRs	Sultaniye Metamorfitleri: Şist, mermer, fillat

Sapanca Kompleksi

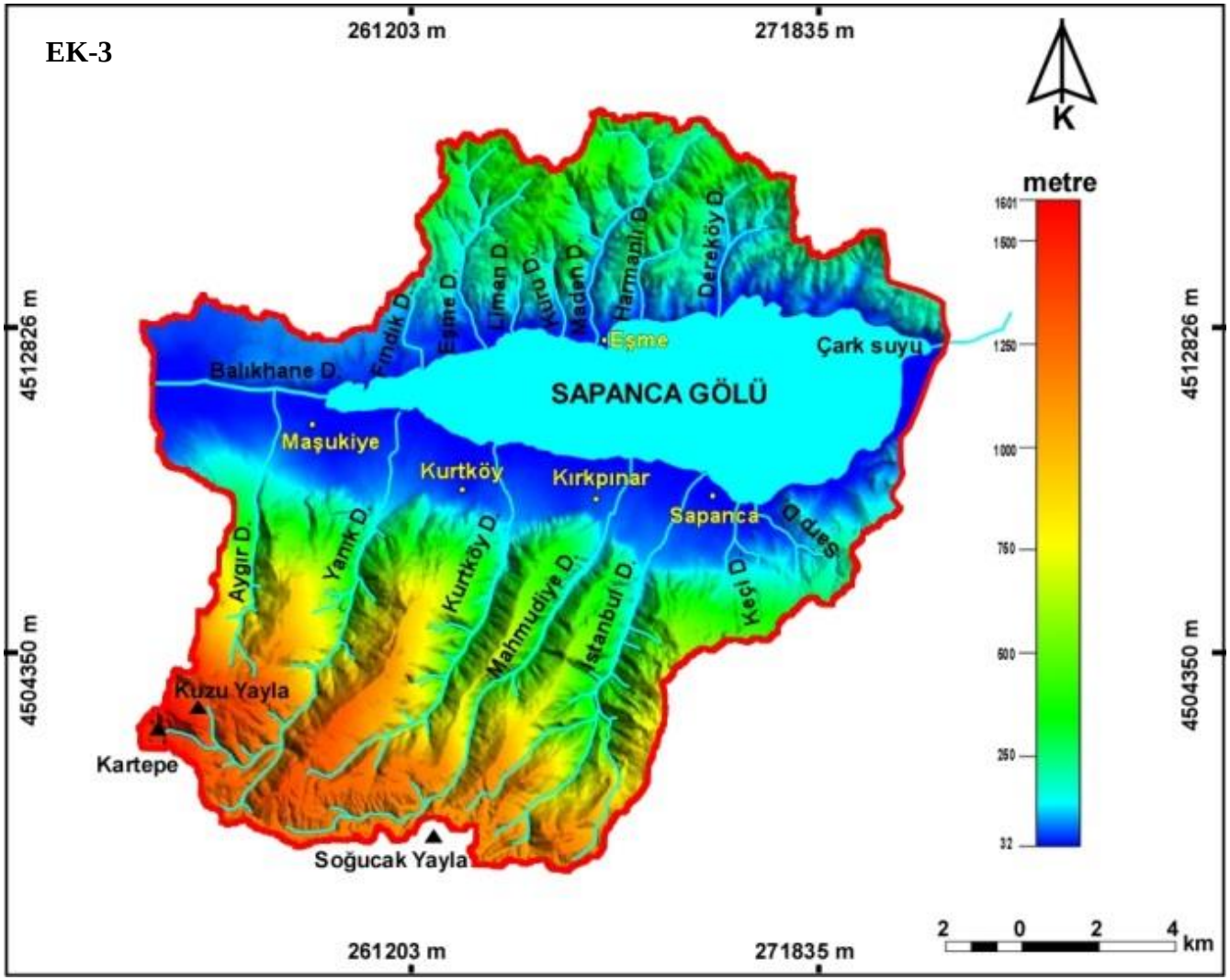
Maşukiye Grubu

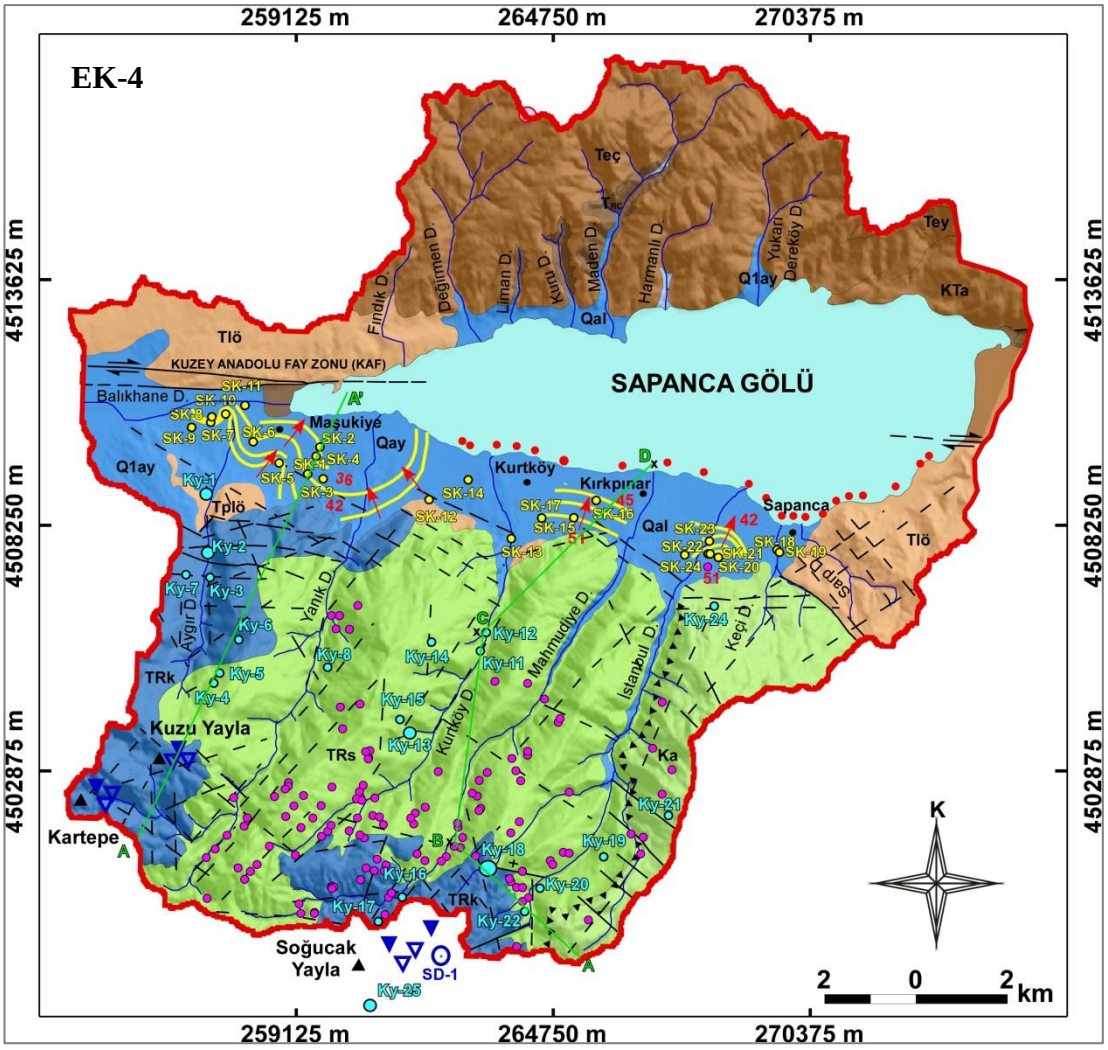
- Dokanak
- Fay
- Olası Fay
- Düşey Fay
- Doğrultu Atımlı Fay
- Bindirme
- Yerleşim Yeri
- Tepe, plato
- Havza sınırı
- A — A' Kesit Yönü

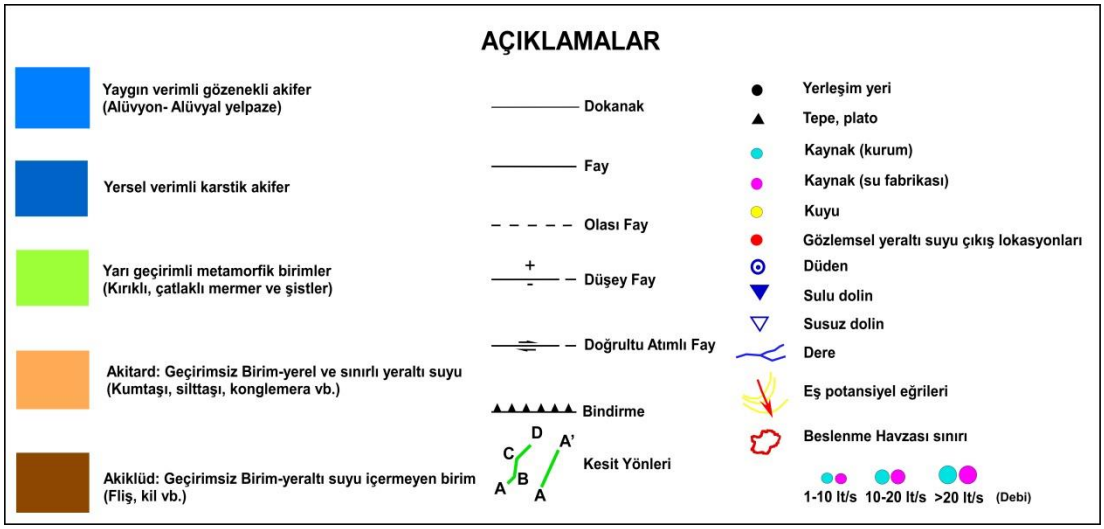
EK-2b


KD
A
SAPANCA GÖL HAVZASI
JEOLOJİK ENİNE KESİTİ (A-A')
GB
A'
1250 m
1000 m
750 m
500 m
250 m
0 m
Soğucak Yayla
TRk
TRs
Teç
Qal
KAF
Sapanca Gölü
Kurtköy
Qal
Qay
Tlö
???
2.5 km
5.0 km
7.5 km
10.0 km
12.5 km
15.0 km
18.03 km

EK-3


261203 m
271835 m
4512826 m
4504350 m
K
metre
1601
1500
1250
1000
750
500
250
32
SAPANCA GÖLÜ
Çark suyu
Eşme
Balıkhane D.
Fındık D.
Eşme D.
Liman D.
Kuru D.
Madan D.
Harmanlı D.
Dereköy D.
Maşukiye
Kurtköy
Kırkpınar
Sapanca
Gaga D.
Aygır D.
Yanık D.
Kurtköy D.
Mahmudiye D.
İstanbul D.
Keçi D.
Kuzu Yayla
Kartepe
Soğucak Yayla
2 0 2 4 km


EK-4
259125 m
264750 m
270375 m
4513625 m
4508250 m
4502875 m
SAPANCA GÖLÜ
KUZEY ANADOLU FAY ZONU (KAF)
Teç
Tey
KTa
Tlö
Q1ay
Qal
Qay
Tplö
TRk
TRs
Ka
Kurtköy
Kırkpınar
Sapanca
Maşukiye
Balıkhane D.
Değirmen D.
Liman D.
Kuru D.
Maden D.
Harmanlı D.
Yukarı Dereköy D.
Fındık D.
Yanık D.
Aygır D.
Kurtköy D.
Mahmudiye D.
İstanbul D.
Keçi D.
Saip D.
Kuzu Yayla
Kartepe
Soğucak Yayla
SD-1
K
2 0 2 km


AÇIKLAMALAR
Yaygın verimli gözenekli akifer (Alüvyon- Alüvyal yelpaze)
Yersel verimli karstik akifer
Yarı geçirimli metamorfik birimler (Kırıklı, çatlaklı mermer ve şistler)
Akitard: Geçirimsiz Birim-yerel ve sınırlı yeraltı suyu (Kumtaşı, silttaşı, konglemera vb.)
Akiklüd: Geçirimsiz Birim-yeraltı suyu içermeyen birim (Fliş, kil vb.)
Dokanak
Fay
Olası Fay
Düşey Fay
Doğrultu Atımlı Fay
Bindirme
Kesit Yönleri
Yerleşim yeri
Tepe, plato
Kaynak (kurum)
Kaynak (su fabrikası)
Kuyu
Gözlemsel yeraltı suyu çıkış lokasyonları
Düden
Sulu dolin
Susuz dolin
Dere
Eş potansiyel eğrileri
Beslenme Havzası sınırı
1-10 lt/s
10-20 lt/s
>20 lt/s
(Debi)

EK-5a: Sapanca Havzası'ndaki karstik kaynakların fizikokimyasal analiz sonuçları-Mayıs 2009

Örnekleme Tarihi	Kaynak No	Kaynak Adı	X	Y	KOT(m)	pH	Sıcaklık (T)	Elektriksel İletkenlik (EC)	Elektriksel İletkenlik (EC)-25°C	Alkalinite ($CaCO_3$)	Toplam Çözünmüş Madde (TDS)	Toplam Sertlik ($CaCO_3$)	Sertlik Sınıflama	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	SO_4^{-2}	HCO_3^{-}
							°C	µS/cm	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
13.05.2009	Ky-1	Hamamsu	257176	4508959	197	7,53	11,0	346	472	172	195	143	sert	46,68	6,36	2,57	0,557	2,85	5,42	170,62
13.05.2009	Ky-2	Akpınar	257178	4507591	438	7,70	10,2	268	373	132	147	113	orta sert	43,43	1,12	1,12	0,228	2,24	5,27	130,93
13.05.2009	Ky-3	Dalar Batar	257238	4507108	414	7,79	10,2	244	341	118	140	102	orta sert	37,50	2,1	1.226	0,285	2,29	6,12	117,04
13.05.2009	Ky-4	Ardıç	257320	4504797	1022	7,64	7,5	272	409	115	169	105	orta sert	39,94	1,17	5,01	0,44	14,98	1,52	114,07
13.05.2009	Ky-6	Osman Efendi	257866	4505746	919	8,12	7,4	366	551	104	232	113	orta sert	39,99	3,31	5,50	0,37	43,50	8,02	103,15
13.05.2009	Ky-7	Muşmula suyu	256711	4507170	497	7,50	8,6	242	352	110	140	97	orta sert	37,26	0,98	1,52	0,23	4,89	4,33	109,11
04.05.2009	Ky-8	Yanık	259812	4505144	631	7,84	8,5	177	258	104	133	94	orta sert	32,47	3,13	1,40	0,43	2,48	7,26	103,35
04.05.2009	Ky-11	Kurtköy dere	263154	4505500	230	7,32	9,8	215	303	107	146	113	orta sert	31,85	8,09	2,80	0,75	2,53	19,81	106,13
04.05.2009	Ky-12	İncirlikaya	263284	4505905	200	7,45	9,6	225	319	111	136	110	orta sert	32,13	7,35	3,01	0,80	2,96	18,09	110,49
04.05.2009	Ky-13	Şahinkaya2	261529	4503690	600	7,87	8,8	143	207	86	111	82	orta sert	24,60	5,05	1,72	0,48	2,06	9,47	85,49
04.05.2009	Ky-14	Dibektaş	262085	4505694	685	7,73	9,3	208	297	116	145	100	orta sert	32,40	4,67	2,74	0,72	2,64	10,05	114,86
04.05.2009	Ky-15	Şahinkaya1	261393	4504000	725	7,75	9,7	161	227	96	116	88	orta sert	29,25	3,60	1,58	0,38	2,92	9,39	95,41
04.05.2009	Ky-16	Beşpınar	261444	4500113	1096	7,36	8,1	257	379	155	179	113	orta sert	41,66	2,12	0,89	0,18	2,37	2,18	153,76
04.05.2009	Ky-17	Soğucak	260921	4499580	1135	7,41	7,9	301	447	174	206	145	sert	54,29	2,23	1,10	0,32	1,66	3,53	173,01
04.05.2009	Ky-18	Mağara	263224	4500662	1059	7,40	7,4	132	199	93	111	82	orta sert	29,44	2,11	1,34	0,28	1,71	2,01	92,24
04.05.2009	Ky-19	Ziyabey	265854	4500996	631	7,71	9,8	164	231	99	114	87	orta sert	31,72	1,82	1,29	0,26	1,93	4,48	98,19
04.05.2009	Ky-20	Kayakıran	264460	4500309	647	7,86	8,9	160	231	98	121	91	orta sert	32,53	2,47	1,33	0,27	1,85	4,34	97,20
04.05.2009	Ky-21	Nikola	267271	4501901	631	7,81	10,3	178	247	107	128	94	orta sert	32,95	2,75	1,43	0,29	2,00	4,06	106,13
04.05.2009	Ky-22	Doksanbeş	264125	4499799	1096	7,94	7,1	100	152	69	78	56	yumuşak	20,46	1,10	1,14	0,34	1,64	1,76	68,03
04.05.2009	Ky-24	Yedigözler	268273	4506482	172	7,39	13,5	377	483	170	228	162	sert	63,43	0,86	5,35	< 0,05	4,16	28,59	168,64
13.05.2009	Ky-25	Gümüşdere	260814	4497435	940	7,6	8,0	306	453	153	193	130	sert	48,57	2,23	1,43	0,31	1,71	2,86	151,77

EK-5a (Devam): Sapanca Havzası'ndaki karstik kaynakların kimyasal analiz sonuçları-Mayıs 2009

Örnekleme Tarihi	Kaynak No	Kaynak Adı	X	Y	KOT(m)	NO_3^-	NO_2^-	Toplam Fosfor (TP)	Amonyum Azotu (NH4+-N)	TOK	Si	Al	Fe	Mn	Ba	Rb	Sr	Pb	U
						mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
13.05.2009	Ky-1	Hamamsu	257176	4508959	197	2,25	<0,05	<0,020	<0,04	0,1	3527,6	<2,0	94,8	<0,05	5,46	0,169	58,21	<0,05	0,035
13.05.2009	Ky-2	Akpınar	257178	4507591	438	2,46	<0,05	<0,020	<0,04	0,1	1472,8	3,17	107,3	<0,05	4,78	0,107	57,2	<0,05	0,049
13.05.2009	Ky-3	Dalar Batar	257238	4507108	414	2,1	<0,05	<0,020	<0,04	0,1	1306,4	11,45	119,5	0,08	4	0,102	38,78	<0,05	0,037
13.05.2009	Ky-4	Ardıç	257320	4504797	1022	4,56	<0,05	<0,020	<0,04	<0,1	3317,9	3,73	110,9	<0,05	5,84	0,142	71,3	<0,05	<0,03
13.05.2009	Ky-6	Osman Efendi	257866	4505746	919	4,07	<0,05	<0,020	<0,04	0,16	1275,2	2,01	210,7	0,065	6,58	0,168	40,39	<0,05	<0,03
13.05.2009	Ky-7	Muşmula suyu	256711	4507170	497	3,02	<0,05	<0,020	<0,04	0,1	1006,1	<2,0	115,3	<0,05	4,42	0,083	46,57	0,07	0,038
04.05.2009	Ky-8	Yanık	259812	4505144	631	2,20	–	<0,020	<0,04	0,34	1810,3	<2,0	151,9	<0,05	2,15	0,232	52,78	<0,05	0,085
04.05.2009	Ky-11	Kurtköy dere	263154	4505500	230	0,79	–	<0,020	<0,04	1,74	2840,7	<2,0	156,7	0,096	4,796	0,176	160,1	<0,05	0,196
04.05.2009	Ky-12	İncirlikaya	263284	4505905	200	0,80	–	<0,020	<0,04	0,6	2993,6	<2,0	153,8	0,05	4,43	0,154	128,3	<0,05	0,2
04.05.2009	Ky-13	Şahinkaya2	261529	4503690	600	1,71	–	<0,020	<0,04	0,34	2190,3	<2,0	142	<0,05	2,27	0,207	71,26	<0,05	0,056
04.05.2009	Ky-14	Dibektaş	262085	4505694	685	<0,2	–	<0,020	<0,04	0,3	3838,7	<2,0	156,2	<0,05	2,42	0,277	79,92	<0,05	0,094
04.05.2009	Ky-15	Şahinkaya1	261393	4504000	725	1,18	–	<0,020	<0,04	0,22	2257,3	<2,0	148,2	<0,05	1,76	0,138	96,14	<0,05	0,075
04.05.2009	Ky-16	Beşpınar	261444	4500113	1096	1,31	–	<0,020	<0,04	0,18	1439,5	<2,0	197,4	<0,05	7,46	0,2	37,72	<0,05	0,052
04.05.2009	Ky-17	Soğucak	260921	4499580	1135	0,77	–	<0,020	<0,04	0,19	1691,9	<2,0	204	<0,05	6,73	0,195	40,94	<0,05	0,076
04.05.2009	Ky-18	Mağara	263224	4500662	1059	1,45	–	<0,020	<0,04	0,88	2271,5	11,34	163,7	0,201	6,64	0,288	27,82	<0,05	0,046
04.05.2009	Ky-19	Ziyabey	265854	4500996	631	2,30	–	<0,020	<0,04	0,15	1685,1	<2,0	159,7	<0,05	4,05	0,13	44,17	<0,05	<0,03
04.05.2009	Ky-20	Kayakıran	264460	4500309	647	2,08	–	<0,020	<0,04	0,1	1387,5	<2,0	171,2	<0,05	3,88	0,159	51,01	<0,05	<0,03
04.05.2009	Ky-21	Nikola	267271	4501901	631	1,97	–	<0,020	<0,04	0,23	1751,0	<2,0	172,1	<0,05	4,54	0,169	53,07	<0,05	<0,03
04.05.2009	Ky-22	Doksanbeş	264125	4499799	1096	1,84	–	<0,020	<0,04	0,95	1646,8	66,33	199,2	0,614	7,92	0,388	20,01	<0,05	0,032
04.05.2009	Ky-24	Yedigözler	268273	4506482	172	2,95	–	<0,020	<0,04	0,14	4543,2	<2,0	98,7	<0,05	17,75	0,76	165	<0,05	0,046
13.05.2009	Ky-25	Gümüşdere	260814	4497435	940	1,08	–	<0,020	<0,04	1,1	2061,9	2,6	245,1	0,437	8,01	0,224	45,96	0,137	0,067

EK-5b: Sapanca Havzası'ndaki karstik kaynakların fizikokimyasal analiz sonuçları-Eylül 2009

Örnekleme Tarihi	Kaynak No	Kaynak Adı	X	Y	KOT(m)	pH	Sıcaklık (T)	Elektriksel İletkenlik (EC)	Elektriksel İletkenlik (EC)-25°C	Alkalinite ($CaCO_3$)	Toplam Çözünmüş Madde (TDS)	Toplam Sertlik ($CaCO_3$)	Sertlik Sınıflama	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	SO_4^{-2}	HCO_3^{-}
							°C	µS/cm	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
28.09.2009	Ky-1	Hamamsu	257176	4508959	197	7,95	12,7	341	446	182	209	187	çok sert	49,90	15,27	6,41	0,72	2,70	5,60	180,55
28.09.2009	Ky-2	Akpınar	257178	4507591	438	8,11	10	193	271	133	168	110	orta sert	40,94	1,82	1,27	< 0,05	1,70	5,20	131,43
28.09.2009	Ky-3	Dalar Batar	257238	4507108	414	8,22	10,1	254	355	125	160	113	orta sert	36,40	5,47	3,22	0,35	2,00	6,60	123,49
28.09.2009	Ky-4	Ardıç	257320	4504797	1022	7,98	7,6	169	253	122	154	101	orta sert	37,82	1,66	5,78	< 0,05	8,80	1,20	120,52
28.09.2009	Ky-5	Can çekti	257449	4505016	960	8,26	10,4	205	284	99	127	102	orta sert	30,34	6,37	12,50	1,91	1,20	3,10	98,19
28.09.2009	Ky-6	Osman Efendi	257866	4505746	919	8,01	7,4	444	669	114	277	170	sert	50,64	10,46	89,40	1,16	56,90	10,90	112,58
28.09.2009	Ky-7	Muşmula suyu	256711	4507170	497	8,26	9,6	231	327	120	153	99	orta sert	35,62	2,38	0,83	< 0,05	1,80	5,00	118,53
28.09.2009	Ky-8	Yanık	259812	4505144	631	8,04	8	266	394	127	158	159	sert	37,46	15,84	7,57	1,83	1,70	10,20	125,97
29.09.2009	Ky-11	Kurtköy dere	263154	4505500	230	7,68	13,6	314	401	133	188	211	çok sert	37,05	28,80	12,30	1,60	2,00	29,70	131,43
29.09.2009	Ky-12	İncirlikaya	263284	4505905	200	7,74	14,5	315	394	141	201	185	çok sert	39,42	21,00	8,38	1,40	2,00	26,70	139,86
29.09.2009	Ky-13	Şahinkaya2	261529	4503690	600	8,13	8,8	232	336	99	141	110	orta sert	29,02	9,14	2,78	2,09	1,80	15,60	98,49
29.09.2009	Ky-14	Dibektaş	262085	4505694	685	7,98	9,3	281	401	123	162	160	sert	38,90	15,20	9,33	1,45	2,50	14,60	122,00
29.09.2009	Ky-15	Şahinkaya1	261393	4504000	725	7,79	8	238	352	107	139	133	sert	29,42	14,52	6,66	1,19	1,80	13,20	105,63
29.09.2009	Ky-16	Beşpınar	261444	4500113	1096	8,04	8,5	332	485	168	193	147	sert	52,47	3,86	1,35	< 0,05	1,40	2,30	166,66
30.09.2009	Ky-17	Soğucak	260921	4499580	1135	7,83	11,7	381	511	195	243	183	çok sert	60,73	7,54	4,29	7,74	1,60	3,50	193,45
30.09.2009	Ky-18	Mağara	263224	4500662	1059	8,35	8,1	181	267	91	110	70	orta sert	23,98	2,49	2,21	< 0,05	1,70	1,60	90,25
30.09.2009	Ky-19	Ziyabey	265854	4500996	631	8,14	10,2	240	334	108	137	105	orta sert	32,14	5,97	4,69	0,62	1,60	3,80	107,12
30.09.2009	Ky-20	Kayakıran	264460	4500309	647	8,28	9,5	242	344	114	150	120	sert	32,44	9,59	5,66	9,66	1,70	9,40	113,07
30.09.2009	Ky-21	Nikola	267271	4501901	631	8,29	9,9	228	321	114	143	107	orta sert	33,92	5,41	2,94	0,18	1,60	3,60	113,27
30.09.2009	Ky-22	Doksanbeş	264125	4499799	1096	8,4	7,3	249	376	126	152	107	orta sert	35,46	4,37	3,60	0,68	1,70	1,30	124,98
30.09.2009	Ky-24	Yedigözler	268273	4506482	172	7,81	12,9	408	531	170	254	226	çok sert	51,16	23,90	17,99	2,30	3,60	35,30	168,64
30.09.2009	Ky-25	Gümüşdere	260814	4497435	940	8,3	8	312	462	171	184	161	sert	53,28	6,88	5,18	0,93	1,70	2,90	169,63

EK-5b (Devam): Sapanca Havzası'ndaki karstik kaynakların kimyasal analiz sonuçları-Eylül 2009

Örnekleme Tarihi	Kaynak No	Kaynak Adı	X	Y	KOT(m)	NO_3^-	NO_2^-	Toplam Fosfor (TP)	Amonyum Azotu (NH4+-N)	TOK	Si	Al	Fe	Mn	Ba	Rb	Sr	Pb	U
						mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
28.09.2009	Ky-1	Hamamsu	257176	4508959	197	2,50	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	3753,2	<1,0	<1,00	<0,05	6,93	<0,1	96,14	<0,022	0,153
28.09.2009	Ky-2	Akpınar	257178	4507591	438	2,40	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	1501,4	<1,0	<1,00	<0,05	5,96	<0,1	80,78	<0,022	0,146
28.09.2009	Ky-3	Dalar Batar	257238	4507108	414	1,80	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	1434,9	<1,0	<1,00	<0,05	5,46	<0,1	71,73	<0,022	0,085
28.09.2009	Ky-4	Ardıç	257320	4504797	1022	4,40	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	3534,2	<1,0	<1,00	<0,05	6,77	<0,1	94,52	<0,022	0,066
28.09.2009	Ky-5	Can çekti	257449	4505016	960	3,10	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	2639,0	14,69	<1,00	<0,05	5,94	<0,1	166,7	<0,022	0,009
28.09.2009	Ky-6	Osman Efendi	257866	4505746	919	4,40	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	1415,0	<1,0	<1,00	<0,05	11	<0,1	92,43	<0,022	0,023
28.09.2009	Ky-7	Muşmula suyu	256711	4507170	497	3,70	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	1203,5	<1,0	<1,00	<0,05	8,53	<0,1	51,27	<0,022	0,111
28.09.2009	Ky-8	Yanık	259812	4505144	631	1,70	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	1813,3	<1,0	<1,00	<0,05	2,881	<0,1	142,5	<0,022	0,073
29.09.2009	Ky-11	Kurtköy dere	263154	4505500	230	1,30	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	3492,7	<1,0	<1,00	<0,05	7,78	<0,1	334,1	<0,022	0,295
29.09.2009	Ky-12	İncirlikaya	263284	4505905	200	1,20	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	3502,3	<1,0	<1,00	<0,05	7,519	<0,1	276,6	<0,022	0,702
29.09.2009	Ky-13	Şahinkaya2	261529	4503690	600	1,60	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	2309,7	<1,0	<1,00	<0,05	2,895	<0,1	115,8	<0,022	0,339
29.09.2009	Ky-14	Dibektaş	262085	4505694	685	0,20	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	3911,4	<1,0	<1,00	<0,05	3,21	<0,1	146	<0,022	0,164
29.09.2009	Ky-15	Şahinkaya1	261393	4504000	725	0,90	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	2182,9	<1,0	<1,00	<0,05	2,01	<0,1	206,1	<0,022	0,096
29.09.2009	Ky-16	Beşpınar	261444	4500113	1096	1,30	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	1495,4	<1,0	<1,00	<0,05	8,25	<0,1	52,07	<0,022	0,167
30.09.2009	Ky-17	Soğucak	260921	4499580	1135	<0,2	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	1840,2	<1,0	<1,00	<0,05	9,91	<0,1	83,25	<0,022	0,096
30.09.2009	Ky-18	Mağara	263224	4500662	1059	1,10	<0,2	<0,020	<0,04	0,8	3552,2	<1,0	3,585	<0,05	7,77	<0,1	41,43	<0,022	0,089
30.09.2009	Ky-19	Ziyabey	265854	4500996	631	2,00	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	1622,2	<1,0	<1,00	<0,05	5,129	<0,1	88,77	<0,022	0,025
30.09.2009	Ky-20	Kayakıran	264460	4500309	647	1,70	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	1692,6	<1,0	<1,00	<0,05	5,134	<0,1	114,5	<0,022	0,068
30.09.2009	Ky-21	Nikola	267271	4501901	631	1,80	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	1993,2	<1,0	<1,00	<0,05	5,634	<0,1	80,3	<0,022	0,094
30.09.2009	Ky-22	Doksanbeş	264125	4499799	1096	3,00	<0,2	<0,020	<0,04	0,21	2412,8	<1,0	<1,00	<0,05	14,62	<0,1	55,6	<0,022	0,045
30.09.2009	Ky-24	Yedigözler	268273	4506482	172	3,30	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	4672,5	<1,0	<1,00	<0,05	22,13	<0,1	274,9	<0,022	0,073
30.09.2009	Ky-25	Gümüşdere	260814	4497435	940	1,00	<0,2	<0,020	<0,04	0,31	2283,7	<1,0	<1,00	<0,05	8,74	<0,1	86,3	<0,022	0,079

EK-5c: Sapanca Havzası'ndaki karstik kaynakların fizikokimyasal analiz sonuçları-Nisan 2010

Örnekleme Tarihi	Kaynak No	Kaynak Adı	X	Y	KOT(m)	pH	Sıcaklık (T)	Elektriksel İletkenlik (EC)	Elektriksel İletkenlik (EC)-25°C	Alkalinite ($CaCO_3$)	Toplam Çözünmüş Madde (TDS)	Toplam Sertlik ($CaCO_3$)	Sertlik Sınıflama	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	SO_4^{-2}	HCO_3^{-}
							°C	µS/cm	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
15-21.04.2010	Ky-1	Hamamsu	257176	4508959	197	7,23	12,3	355	469	171	218	133	sert	42,37	6,64	3,59	0,65	2,64	5,45	169,63
15-21.04.2010	Ky-2	Akpınar	257178	4507591	438	7,54	10,5	283	392	130	176	105	orta sert	38,30	2,38	2,07	0,50	2,14	6,7	128,55
15-21.04.2010	Ky-3	Dalar Batar	257238	4507108	414	7,64	10	253	354	114	149	95	orta sert	34,25	2,33	1,83	0,58	1,86	5,99	112,78
15-21.04.2010	Ky-4	Ardıç	257320	4504797	1022	7,59	7,6	289	432	114	179	96	orta sert	36,30	1,29	8,58	0,45	17,01	1,5	113,07
15-21.04.2010	Ky-5	Can cekti	257449	4505016	960	7,5	8	207	306	100	127	78	orta sert	29,51	1,13	2,39	0,48	1,06	2,96	98,89
15-21.04.2010	Ky-6	Osman Efendi	257866	4505746	919	7,51	7,8	376	560	107	227	101	orta sert	35,37	3,19	27,39	0,58	46,19	6,64	105,83
15-21.04.2010	Ky-7	Muşmula suyu	256711	4507170	497	7,48	7,8	245	365	108	144	90	orta sert	34,55	0,88	2,42	0,50	4,91	4,26	107,22
15-21.04.2010	Ky-8	Yanık	259812	4505144	631	8,01	8,3	224	328	114	154	95	orta sert	32,54	3,22	2,07	0,65	1,31	7,64	113,27
15-21.04.2010	Ky-11	Kurtköy dere	263154	4505500	230	7,46	9,2	293	420	122	190	123	sert	34,16	9,21	4,66	0,86	2,31	22,6	121,01
15-21.04.2010	Ky-12	İncirlikaya	263284	4505905	200	7,48	8,7	276	401	118	173	112	orta sert	32,16	7,81	4,26	0,91	5,69	20,02	116,75
15-21.04.2010	Ky-13	Şahinkaya2	261529	4503690	600	8,12	8,6	219	318	93	137	88	orta sert	26,30	5,54	2,59	0,72	1,58	10,87	92,34
15-21.04.2010	Ky-14	Dibektaş	262085	4505694	685	7,88	8,5	242	354	108	152	93	orta sert	29,84	4,49	3,77	0,77	2,12	9,56	107,52
15-21.04.2010	Ky-15	Şahinkaya1	261393	4504000	725	7,84	7,9	244	363	98	140	86	orta sert	28,13	3,77	2,34	0,56	1,6	9,74	97,00
15-21.04.2010	Ky-16	Beşpınar	261444	4500113	1096	7,75	7,7	328	490	160	197	124	sert	46,14	2,12	1,41	0,38	1,23	2,29	158,42
15-21.04.2010	Ky-17	Soğucak	260921	4499580	1135	7,41	7	346	527	182	220	134	sert	49,99	2,23	1,65	0,56	1,3	3,5	180,25
15-21.04.2010	Ky-18	Mağara	263224	4500662	1059	8,01	7,3	189	286	89	120	72	orta sert	25,66	1,98	2,03	0,47	1,22	2,02	87,87
15-21.04.2010	Ky-19	Ziyabey	265854	4500996	631	7,98	9,1	212	304	98	133	82	orta sert	29,89	1,85	1,91	0,48	1,57	4,38	97,10
15-21.04.2010	Ky-20	Kayakıran	264460	4500309	647	8,06	7,9	215	319	100	132	82	orta sert	28,85	2,39	1,97	0,48	1,45	4,33	98,79
15-21.04.2010	Ky-21	Nikola	267271	4501901	631	8,09	9,4	226	322	108	140	89	orta sert	30,95	2,79	2,09	0,50	1,5	3,98	107,12
15-21.04.2010	Ky-22	Doksanbeş	264125	4499799	1096	8,06	6,4	162	251	77	99	64	orta sert	23,34	1,33	1,80	0,57	1,45	2,06	76,16
15-21.04.2010	Ky-24	Yedigözler	268273	4506482	172	7,59	12,5	398	523	170	248	155	sert	46,91	9,29	8,46	1,36	10,98	31,46	169,04
15-21.04.2010	Ky-25	Gümüşdere	260814	4497435	940	8,16	8,6	294	428	152	184	117	orta sert	43,92	1,89	1,80	0,53	1,6	2,98	150,48

EK-5c (Devam): Sapanca Havzası'ndaki karstik kaynakların kimyasal analiz sonuçları-Nisan 2010

Örnekleme Tarihi	Kaynak No	Kaynak Adı	X	Y	KOT(m)	NO_3^-	NO_2^-	Toplam Fosfor (TP)	Amonyum Azotu (NH4+-N)	TOK	Al	Fe	Mn	Ba	Rb	Sr	Pb	U
						mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
15-21.04.2010	Ky-1	Hamamsu	257176	4508959	197	2,58	<0,2	<0,020	<0,2	<0,2	3,081	< 1,00	0,214	8,296	0,427	79,45	1,954	0,046
15-21.04.2010	Ky-2	Akpınar	257178	4507591	438	2,04	<0,2	<0,020	<0,2	<0,2	2,602	< 1,00	0,062	7,165	0,303	82,9	0,248	0,188
15-21.04.2010	Ky-3	Dalar Batar	257238	4507108	414	2,23	<0,2	<0,020	<0,2	<0,2	2,729	< 1,00	0,312	5,974	0,325	53,28	< 0,20	0,02
15-21.04.2010	Ky-4	Ardıç	257320	4504797	1022	4,27	<0,2	<0,020	<0,2	<0,2	3,563	< 1,00	0,049	8,891	0,367	89,54	< 0,20	0,032
15-21.04.2010	Ky-5	Can cekti	257449	4505016	960	2,85	<0,2	<0,020	<0,2	<0,2	2,919	< 1,00	0,252	7,176	0,289	80,11	< 0,20	< 0,03
15-21.04.2010	Ky-6	Osman Efendi	257866	4505746	919	3,49	<0,2	<0,020	<0,2	<0,2	3,112	< 1,00	0,113	9,084	0,376	49,39	< 0,20	0,026
15-21.04.2010	Ky-7	Muşmula suyu	256711	4507170	497	2,16	<0,2	<0,020	<0,2	<0,2	2,913	< 1,00	0,08	5,703	0,271	65,76	< 0,20	0,042
15-21.04.2010	Ky-8	Yanık	259812	4505144	631	1,47	<0,2	<0,020	<0,2	<0,2	2,399	< 1,00	0,822	3,155	0,463	72,17	< 0,20	0,117
15-21.04.2010	Ky-11	Kurtköy dere	263154	4505500	230	0,65	<0,2	<0,020	<0,2	<0,2	3,057	< 1,00	0,652	7,156	0,408	193,3	< 0,20	0,458
15-21.04.2010	Ky-12	İncirlikaya	263284	4505905	200	0,82	<0,2	<0,020	<0,2	<0,2	2,737	< 1,00	0,168	6,09	0,357	155,9	< 0,20	0,473
15-21.04.2010	Ky-13	Şahinkaya2	261529	4503690	600	1,69	<0,2	<0,020	<0,2	<0,2	3,222	< 1,00	0,204	3,271	0,407	86,78	< 0,20	0,183
15-21.04.2010	Ky-14	Dibektaş	262085	4505694	685	0,21	<0,2	<0,020	<0,2	<0,2	3,678	< 1,00	0,283	3,464	0,51	83,02	< 0,20	0,178
15-21.04.2010	Ky-15	Şahinkaya1	261393	4504000	725	0,98	<0,2	<0,020	<0,2	<0,2	2,535	< 1,00	0,076	2,156	0,327	108,2	< 0,20	0,118
15-21.04.2010	Ky-16	Beşpınar	261444	4500113	1096	1,15	<0,2	<0,020	<0,2	<0,2	2,816	< 1,00	0,298	9,759	0,472	48,13	< 0,20	0,039
15-21.04.2010	Ky-17	Soğucak	260921	4499580	1135	0,56	<0,2	<0,020	<0,2	<0,2	1,694	< 1,00	0,196	9,467	0,476	54,87	< 0,20	0,07
15-21.04.2010	Ky-18	Mağara	263224	4500662	1059	1,08	<0,2	<0,020	<0,2	0,75	20,34	36,36	1,258	8,584	0,498	33,15	0,462	0,074
15-21.04.2010	Ky-19	Ziyabey	265854	4500996	631	1,89	<0,2	<0,020	<0,2	<0,2	3,806	2,519	0,416	5,433	0,308	57,59	< 0,20	0,07
15-21.04.2010	Ky-20	Kayakıran	264460	4500309	647	<0,2	<0,2	<0,020	<0,2	<0,2	2,257	< 1,00	0,199	4,817	0,308	62,17	< 0,20	0,052
15-21.04.2010	Ky-21	Nikola	267271	4501901	631	1,81	<0,2	<0,020	<0,2	<0,2	2,205	< 1,00	0,058	5,787	0,372	65,6	< 0,20	0,042
15-21.04.2010	Ky-22	Doksanbeş	264125	4499799	1096	1,75	<0,2	<0,020	<0,2	0,17	31,47	52,61	0,577	11,61	0,589	29,89	< 0,20	0,063
15-21.04.2010	Ky-24	Yedigözler	268273	4506482	172	2,97	<0,2	<0,020	<0,2	0,17	2,844	< 1,00	0,063	27,27	1,231	209,2	< 0,20	0,157
15-21.04.2010	Ky-25	Gümüşdere	260814	4497435	940	0,76	<0,2	<0,020	<0,2	0,33	6,613	3,124	0,505	9,039	0,491	54,26	< 0,20	0,114

EK-5d: Sapanca Havzası'ndaki karstik kaynakların fizikokimyasal analiz sonuçları-Temmuz 2014

Örnekleme Tarihi	Kaynak No	Kaynak Adı	X	Y	KOT	pH	Sıcaklık (T)	Elektriksel İletkenlik (EC)	Alkalinite ($CaCO_3$)	Çözünmüş Madde (TDS)	Toplam Sertlik ($CaCO_3$)	Sertlik Sınıflama	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	SO_4^{-2}	HCO_3^{-}	NO_3^{-}	NO_2^{-}
					m		°C	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
24.07.2014	Ky-8	Yanık	259812	4505144	631	7,9	11,7	206	140	233	124	sert	43,70	3,61	1,47	0,42	1,63	9,73	170,80	1,92	n.a.
24.07.2014	Ky-14	Dibektaş	262085	4505694	685	7,9	10,8	205	130	226	127	sert	42,04	5,45	2,89	0,56	2,09	13,02	158,60	1,05	n.a.
24.07.2014	Ky-15	Şahinkaya1	261393	4504000	725	8,2	11,7	173	110	193	106	orta sert	33,74	5,37	1,93	0,43	1,70	13,42	134,20	2,31	n.a.
24.07.2014	Ky-16	Beşpınar	261444	4500113	1096	7,6	8,2	237	181	291	164	sert	61,98	2,12	0,99	0,24	1,37	2,41	220,82	1,15	n.a.
24.07.2014	Ky-18	Mağara	263224	4500662	1059	7,8	8,8	130	112	179	93	orta sert	33,67	2,12	1,72	0,30	1,52	1,80	136,64	1,60	n.a.
24.07.2014	Ky-22	Doksanbeş	264125	4499799	1096	7,7	7,5	150	120	194	103	orta sert	38,81	1,53	1,33	0,34	1,53	1,44	146,40	2,58	n.a.

EK-5d (Devam): Sapanca Havzası'ndaki karstik kaynakların fizikokimyasal analiz sonuçları-Temmuz 2014

Örnekleme Tarihi	Kaynak No	Kaynak Adı	X	Y	KOT	F	Br	Mn	Fe	As	Al	Sn	Co	Ni	Cu	Zn	Li	Be	B	Ti	V	Cr
					m	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
24.07.2014	Ky-8	Yanık	259812	4505144	631	n.a.	n.a.	0,10	<10	3,74	2,6	0,15	0,08	2,20	<0,1	1,46	0,40	<0,01	<3	0,13	0,05	4,67
24.07.2014	Ky-14	Dibektaş	262085	4505694	685	0,04	n.a.	0,57	<10	0,56	6,6	0,23	0,08	1,94	<0,1	1,41	1,36	<0,01	<3	0,29	0,07	4,57
24.07.2014	Ky-15	Şahinkaya1	261393	4504000	725	n.a.	n.a.	<0,01	<10	1,70	2,4	<0,01	0,07	1,41	<0,1	<0,1	0,74	<0,01	<3	0,18	0,03	6,75
24.07.2014	Ky-16	Beşpınar	261444	4500113	1096	n.a.	n.a.	0,08	<10	0,15	2,2	0,30	0,12	3,21	<0,1	2,49	1,97	<0,01	<3	<0,01	0,14	6,70
24.07.2014	Ky-18	Mağara	263224	4500662	1059	n.a.	n.a.	0,64	25,9	0,60	14,1	<0,01	0,09	1,86	<0,1	0,61	0,39	<0,01	<3	0,27	0,10	3,57
24.07.2014	Ky-22	Doksanbeş	264125	4499799	1096	n.a.	n.a.	0,45	<10	0,48	13,1	0,15	0,08	2,01	<0,1	2,67	0,25	<0,01	<3	0,24	0,12	4,31

EK-6a: Sapanca Havzası'ndaki karstik kaynakların in-situ analiz sonuçları Mayıs 2009-Haziran 2010

Kuyu No	Kuyu Yeri	Kuyu Adı	Mayıs 2009 T (ºC)	Temmuz 2009 T (ºC)	Ağustos 2009 T (ºC)	Eylül 2009 T (ºC)	Ekim 2009 T (ºC)	Aralık 2009 T (ºC)	Şubat 2010 T (ºC)	Mart 2010 T (ºC)	Nisan 2010 T (ºC)	Mayıs 2010 T (ºC)	Haziran 2010 T (ºC)	Ortalama (n=11 ay) T (ºC)	Standart sapma (±) T (ºC)
SK-1	Maşukiye	37612	15,50	16,00	15,40	14,90	14,60	13,80	14,20	14,30	14,40	14,40	15,10	14,78	0,66
SK-2	Maşukiye	Cansu alabalık	13,80	13,50	13,20	13,30	13,30	13,20	13,30	13,40	13,30	13,50	13,90	13,43	0,23
SK-3	Maşukiye	Ziya bey	15,30	14,70	-	14,50	14,70	-	14,70	14,90	14,60	-	15,50	14,86	0,35
SK-4	Maşukiye	Yayla alabalık	14,00	13,60	15,00	14,20	13,80	13,00	13,90	14,20	13,60	14,00	14,00	13,94	0,49
SK-5	Maşukiye	37611	13,80	13,70	14,00	13,50	13,60	13,00	13,40	13,50	13,50	14,00	13,80	13,62	0,29
SK-7	Maşukiye	37610	13,50	13,80	13,20	13,40	13,20	12,60	13,00	12,90	13,00	-	13,60	13,22	0,36
SK-8	Maşukiye	Özel Bahce	13,10	12,90	12,60	13,00	12,60	12,00	12,80	12,60	12,20	12,50	13,10	12,67	0,36
SK-9	Maşukiye	37614	12,5	13,90	14,00	14,40	14,00	13,10	13,90	13,70	13,60	14,00	14,4	13,77	0,56
SK-10	Maşukiye	Coca Cola	12,70	13,80	13,00	13,00	12,70	12,50	12,70	12,60	12,80	13,30	13,00	12,92	0,37
SK-11	Maşukiye	Göksu	14,30	15,00	17,00	15,40	14,20	13,90	14,00	14,00	14,00	16,00	15,10	14,81	1,01
SK-12	Yanık	Muhtarlık	12,70	13,50	14,50	12,20	13,20	10,30	10,50	15,50	12,10	11,50	18,80	13,16	2,44
SK-13	Kurtköy	27132- İ.Ü.	12,00	-	11,60	11,40	10,90	11,20	11,10	11,10	10,50	11,50	12,10	11,34	0,49
SK-14	Kurtköy	Belediye sondajı	15,10	14,70	14,30	14,30	14,70	13,60	14,40	14,20	15,70	14,20	15,70	14,63	0,65
SK-15	Kırkpınar	Belediye yanı	14,10	14,10	14,50	13,90	13,20	13,10	10,50	13,70	13,50	13,40	13,90	13,45	1,06
SK-16	Kırkpınar	Belediye arkası	14,80	-	-	15,70	-	-	-	-	14,10	-	15,70	15,08	0,78
SK-17	Kırkpınar	Manors sitesi	12,50	-	-	12,80	12,60	-	12,00	12,20	12,30	-	12,80	12,46	0,30
SK-19	Sapanca	L5 Atilla-1	12,80	15,60	13,10	13,30	16,30	-	-	-	-	-	13,20	14,05	1,50
SK-20	Sapanca	L10	13,20	13,60	13,40	13,70	13,60	13,20	13,40	12,80	12,40	12,50	12,70	13,14	0,46
SK-21	Sapanca	L2	13,10	13,90	14,70	13,50	12,90	11,90	12,60	13,10	12,80	-	12,80	13,13	0,76
SK-22	Sapanca	L3	12,60	12,60	13,40	12,60	12,10	11,70	11,90	12,70	12,40	12,00	12,90	12,45	0,49
SK-23	Sapanca	L1	13,10	14,50	13,40	13,20	12,80	12,10	12,20	13,00	12,90	12,70	13,00	12,99	0,64
SK-24	Sapanca	Kestanelik	13,10	-	-	13,40	12,70	9,30	12,60	13,50	12,8	-	13,10	12,56	1,36

EK-6b: Sapanca Havzası'ndaki karstik kaynakların in-situ analiz sonuçları Mayıs 2009-Haziran 2010

Kuyu No	Bölge	Kuyu Adı	Mayıs 2009 pH	Temmuz 2009 pH	Ağustos 2009 pH	Eylül 2009 pH	Ekim 2009 pH	Aralık 2009 pH	Şubat 2010 pH	Mart 2010 pH	Nisan 2010 pH	Mayıs 2010 pH	Haziran 2010 pH	Ortalama (n=11 ay) pH
SK-1	Maşukiye	37612	7,31	7,48	7,40	7,83	7,73	7,71	6,93	7,33	7,54	7,19	7,45	7,45
SK-2	Maşukiye	Cansu alabalık	7,52	7,48	7,85	7,83	7,94	7,86	7,29	7,62	7,62	7,68	7,37	7,64
SK-3	Maşukiye	Ziya bey	7,01	7,23	-	7,54	7,46	-	6,96	6,98	7,22	-	6,95	7,17
SK-4	Maşukiye	Yayla alabalık	7,23	7,40	7,39	7,39	7,43	7,59	7,18	7,02	7,32	7,15	7,02	7,28
SK-5	Maşukiye	37611	7,23	7,33	7,61	7,61	7,62	7,58	7,18	7,35	7,43	7,37	7,20	7,41
SK-7	Maşukiye	37610	7,22	7,27	7,30	7,52	7,43	7,45	7,04	7,02	7,27	-	7,14	7,27
SK-8	Maşukiye	Özel Bahce	7,25	7,19	7,53	7,68	7,61	7,50	7,07	7,15	7,56	7,53	7,17	7,39
SK-9	Maşukiye	37614	7,52	7,13	7,65	7,74	7,61	7,48	7,25	7,25	7,54	7,52	7,24	7,45
SK-10	Maşukiye	Coca Cola	7,61	7,39	7,73	7,98	7,92	7,82	7,43	7,52	7,63	7,74	7,35	7,65
SK-11	Maşukiye	Göksu	7,39	7,58	7,65	7,63	7,65	7,54	7,34	7,63	7,60	7,71	7,53	7,57
SK-12	Yanık	Muhtarlık	7,15	7,39	7,66	7,69	7,67	7,69	7,38	7,61	7,71	7,49	7,18	7,51
SK-13	Kurtköy	27132- İ.Ü.	7,15	-	7,85	7,57	7,60	6,98	6,91	7,01	7,40	7,36	7,22	7,31
SK-14	Kurtköy	Belediye sondajı	7,02	7,23	7,78	7,68	7,66	7,14	7,07	7,17	6,96	7,35	7,02	7,28
SK-15	Kırkpınar	Belediye yanı	7,32	7,34	7,64	7,67	7,40	7,19	6,94	7,47	7,65	7,37	7,31	7,39
SK-16	Kırkpınar	Belediye arkası	7,30	-	-	7,55	-	-	-	-	7,55	-	7,55	7,49
SK-17	Kırkpınar	Manors sitesi	7,32	-	-	7,52	7,94	-	7,26	7,37	7,38	-	7,34	7,45
SK-19	Sapanca	L5 Atilla-1	7,33	7,17	7,71	7,64	7,33	-	-	-	-	-	7,39	7,43
SK-20	Sapanca	L10	7,38	7,25	7,67	7,79	7,45	7,34	7,11	7,30	7,53	7,37	7,18	7,40
SK-21	Sapanca	L2	7,37	7,19	7,64	7,83	7,48	7,50	7,30	7,59	7,45	-	7,21	7,46
SK-22	Sapanca	L3	7,53	7,29	7,82	7,86	7,73	7,41	7,48	7,28	7,70	7,62	7,36	7,55
SK-23	Sapanca	L1	7,33	7,19	7,71	7,76	7,61	7,37	7,35	7,30	7,58	7,63	7,30	7,47
SK-24	Sapanca	Kestanelik	7,35	-		7,78	7,53	7,32	7,21	7,39	7,51	-	7,39	7,44

EK-6c: Sapanca Havzası'ndaki karstik kaynakların in-situ analiz sonuçları Mayıs 2009-Haziran 2010

Kuyu No	Kuyu Yeri	Kuyu Adı	Mayıs 2009 EC (µS /cm)	Temmuz 2009 EC (µS /cm)	Ağustos 2009 EC (µS /cm)	Eylül 2009 EC (µS /cm)	Ekim 2009 EC (µS /cm)	Aralık 2009 EC (µS /cm)	Şubat 2010 EC (µS /cm)	Mart 2010 EC (µS /cm)	Nisan 2010 EC (µS /cm)	Mayıs 2010 EC (µS /cm)	Haziran 2010 EC (µS /cm)	Ortalama (n=11 ay) EC (µS /cm)	Standart sapma (±) EC (µS /cm)
SK-1	Maşukiye	37612	412	397	402	398	343	409	411	413	410	412	411	402	20
SK-2	Maşukiye	Cansu alabalık	421	415	420	414	354	423	416	422	422	415	419	413	20
SK-3	Maşukiye	Ziya bey	380	373	-	372	320	--	384	381	380	-	379	371	21
SK-4	Maşukiye	Yayla alabalık	434	472	476	492	402	423	435	481	484	474	488	460	31
SK-5	Maşukiye	37611	489	480	475	474	402	474	485	491	489	483	488	475	25
SK-7	Maşukiye	37610	689	676	683	670	573	676	688	696	690	-	692	673	36
SK-8	Maşukiye	Özel bahce	582	558	562	554	476	562	571	578	578	566	580	561	30
SK-9	Maşukiye	37614	505	491	503	479	428	497	506	515	509	504	509	495	24
SK-10	Maşukiye	Coca Cola	435	411	417	410	351	411	432	438	432	422	436	418	25
SK-11	Maşukiye	Göksu sitesi	426	400	401	391	340	400	405	408	405	385	403	397	21
SK-12	Yanık	Muhtarlik	429	350	428	420	353	419	354	251	428	424	379	385	55
SK-13	Kurtköy	27132- İ.Ü.	292	-	314	323	277	362	339	310	300	304	298	312	25
SK-14	Kurtköy	Belediye sondajı	313	308	305	302	257	308	313	315	313	314	312	305	17
SK-15	Kırkpınar	Belediye yanı	318	310	309	307	296	308	358	312	367	315	289	317	24
SK-16	Kırkpınar	Belediye arkası	406	-	-	420	-	-	-	-	412	-	394	408	11
SK-17	Kırkpınar	Manors sitesi	305	-	--	320	268	-	306	306	304	-	303	302	16
SK-19	Sapanca	L5 Atilla-1	505	488	502	499	446	-	-	-	-	-	497	490	22
SK-20	Sapanca	L10	553	569	578	498	484	521	558	561	542	578	515	542	32
SK-21	Sapanca	L2	566	565	562	543	466	542	593	630	604	-	557	563	44
SK-22	Sapanca	L3	527	482	502	497	423	500	494	523	500	494	501	495	27
SK-23	Sapanca	L1	574	536	578	573	490	485	510	559	573	520	575	543	36
SK-24	Sapanca	Kestanelik	578	-	-	549	476	561	565	597	596	-	570	562	38

EK-6d: Sapanca Havzası'ndaki karstik kaynakların in-situ analiz sonuçları Mayıs 2009-Haziran 2010

Kuyu No	Bölge	Kuyu Adı	Mayıs 2009 ÇO (mg/l)	Temmuz 2009 ÇO (mg/l)	Ağustos 2009 ÇO (mg/l)	Eylül 2009 ÇO (mg/l)	Ekim 2009 ÇO (mg/l)	Aralık 2009 ÇO (mg/l)	Şubat 2010 ÇO (mg/l)	Mart 2010 ÇO (mg/l)	Nisan 2010 ÇO (mg/l)	Mayıs 2010 ÇO (mg/l)	Haziran 2010 ÇO (mg/l)	Ortalama (n=11 ay) ÇO (mg/l)	Standart sapma (±) ÇO (mg/l)
SK-1	Maşukiye	37612	7,82	2,90	4,93	6,10	4,17	4,07	6,47	5,58	6,39	4,22	1,24	5,27	1,85
SK-2	Maşukiye	Cansu alabalık	6,88	4,69	5,23	6,01	5,20	6,56	6,48	5,45	5,80	6,31	0,65	5,86	1,71
SK-3	Maşukiye	Ziya bey	4,99	-	5,59	3,27	-	3,81	2,39	2,71	2,76	-	1,17	3,65	1,43
SK-4	Maşukiye	Yayla alabalık	5,06	2,74	4,90	3,93	4,51	5,53	3,21	3,60	5,22	2,42	1,11	4,11	1,38
SK-5	Maşukiye	37611	6,90	4,77	5,09	5,03	4,92	5,37	5,80	4,54	5,37	4,44	0,43	5,22	1,60
SK-7	Maşukiye	37610	5,86	5,19	5,18	5,46	5,74	6,31	7,01	4,86	7,73	-	1,00	5,93	1,79
SK-8	Maşukiye	Özel Bahce	6,48	5,16	4,93	5,32	4,99	5,43	6,26	4,87	5,72	6,65	0,62	5,58	1,62
SK-9	Maşukiye	37614	5,93	5,89	5,71	4,28	4,44	5,22	6,34	4,70	-	3,82	0,88	5,15	1,58
SK-10	Maşukiye	Coca Cola	4,43	1,19	2,46	4,79	3,95	3,98	3,86	2,91	4,61	5,15	1,26	3,73	1,37
SK-11	Maşukiye	Göksu	5,84	1,65	2,56	4,10	1,23	0,48	1,16	1,34	1,36	3,67	1,23	2,34	1,64
SK-12	Yanık	Muhtarlik	8,93	6,80	5,97	8,15	8,64	8,63	9,94	7,75	11,54	8,29	1,63	8,46	2,53
SK-13	Kurtköy	27132- İ.Ü.	9,07	7,53	7,18	6,53	6,90	8,22	8,58	7,30	7,22	6,77	0,67	7,53	2,21
SK-14	Kurtköy	Belediye sondajı	4,26	3,03	3,71	4,02	3,00	3,73	6,45	2,59	5,09	2,63	1,27	3,85	1,38
SK-15	Kırkpınar	Belediye yanı	8,40	4,32	4,46	3,88	4,49	4,20	9,22	6,95	9,49	4,23	2,26	5,96	2,45
SK-16	Kırkpınar	Belediye arkası	7,65	-	-	6,60	-	-	-	2,14	8,02	-	3,07	6,10	2,71
SK-17	Kırkpınar	Manors sitesi	7,32	-	-	8,07	-	7,74	8,49	8,07	9,99	-	0,89	8,28	2,92
SK-19	Sapanca	L5 Atilla-1	10,05	8,75	6,29	8,31	-	-	-	-	11,05	-	1,95	8,89	3,26
SK-20	Sapanca	L10	7,14	6,16	6,13	6,68	6,74	6,21	8,07	5,94	7,78	8,19	0,90	6,90	1,98
SK-21	Sapanca	L2	8,96	4,94	5,92	6,55	9,07	7,32	9,30	6,94	9,93	-	1,77	7,66	2,47
SK-22	Sapanca	L3	7,60	5,75	5,76	9,54	6,76	7,23	7,64	6,97	10,03	6,55	1,51	7,38	2,23
SK-23	Sapanca	L1	6,32	4,14	5,80	5,68	3,20	4,86	7,00	5,52	7,57	4,39	1,38	5,45	1,76
SK-24	Sapanca	Kestanelik	9,01	-	6,42	8,55	5,71	8,04	6,15	6,20	10,09	-	1,62	7,52	2,48

EK-7a: Sapanca Havzası'ndaki kuyuların fizikokimyasal analiz sonuçları-Mayıs 2009

Örnekleme Tarihi	Kuyu No	Kuyu Adı	Kuyu Yeri	X	Y	KOT(m)	Kuyu Derinlik (m)	pH	Sıcaklık (T)	Elektriksel İletkenlik (EC)	Çözünmüş Oksijen (ÇO)	Alkalinite ($CaCO_3$)	Toplam Çözünmüş Madde (TDS)	Toplam Sertlik ($CaCO_3$)	Sertlik Sınıflama	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	SO_4^{-2}	HCO_3^{-}
									°C	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
08.05.2009	SK-1	37612	Maşukiye	259376	4509373	40	66	7,31	15,50	412	7,82	195	272	163	sert	54,96	6,17	5,69	0,51	9,20	4,43	193,45
08.05.2009	SK-2	Cansu alabalık	Maşukiye	259643	4509962	35	40	7,52	13,80	421	6,88	188	287	173	sert	42,04	16,52	5,27	0,59	4,69	25,59	186,50
08.05.2009	SK-5	37611	Maşukiye	258750	4509613	43	80	7,23	13,80	489	6,90	222	316	191	çok sert	67,41	5,51	5,44	0,49	9,25	9,96	220,24
08.05.2009	SK-7	37610	Maşukiye	257252	4510504	45	74	7,22	13,50	689	5,86	309	429	308	çok sert	98,72	15,05	6,00	0,51	12,54	29,96	306,76
08.05.2009	SK-8	Özel bahce	Maşukiye	257277	4510623	32	70	7,25	13,10	582	6,48	253	351	295	çok sert	96,89	12,80	4,99	0,39	8,49	23,03	251,19
08.05.2009	SK-9	37614	Maşukiye	256835	4510393	50	64	7,52	12,5	505	5,93	242	313	217	çok sert	68,48	11,25	5,66	0,40	7,25	10,84	240,08
08.05.2009	SK-10	Coca Cola	Maşukiye	257579	4510685	45	-	7,61	12,70	435	4,43	195	273	172	sert	56,82	7,40	4,14	0,79	5,07	16,51	193,45
08.05.2009	SK-11	Göksu Sitesi	Maşukiye	258003	4510873	31	60	7,39	14,30	426	5,84	206	233	159	sert	50,37	8,02	6,21	0,45	2,17	2,44	204,76
08.05.2009	SK-12	Muhtarlik	Yanık	261954	4508734	60	100	7,15	12,70	429	8,93	193	248	169	sert	60,42	4,30	4,57	0,63	6,42	13,34	191,26
08.05.2009	SK-13	27132-İ.Ü.	Kurtköy	263831	4507959	82	60	7,15	12,00	292	9,07	123	206	99	orta sert	25,13	8,84	4,13	0,44	3,62	19,58	122,00
08.05.2009	SK-14	Bel. Sndj	Kurtköy	262887	4509244	37	70	7,02	15,10	313	4,26	140	179	105	orta sert	25,40	10,09	5,22	0,44	4,09	13,36	138,87
08.05.2009	SK-15	Belediye yanı	Kırkpınar	265200	4508415	60	-	7,32	14,10	318	8,40	146	179	121	sert	32,23	9,88	5,92	0,69	2,86	12,24	144,83
08.05.2009	SK-19	L5 Atilla 1	Sapanca	269702	4507659	33	58	7,33	12,80	505	10,05	213	306	263	çok sert	64,08	25,00	6,01	0,84	11,44	27,93	211,01
08.05.2009	SK-20	L10	Sapanca	268363	4507547	55	52	7,38	13,20	553	7,14	252	360	239	çok sert	69,93	15,68	6,03	0,91	10,84	32,57	250,40
08.05.2009	SK-21	L2	Sapanca	268138	4507626	60	84	7,37	13,10	566	8,96	263	359	252	çok sert	71,97	17,59	5,84	0,95	8,45	31,03	261,32
08.05.2009	SK-22	L3	Sapanca	267628	4507601	68	-	7,53	12,60	527	7,60	219	292	201	çok sert	56,64	14,41	5,57	0,68	7,03	25,57	217,26
08.05.2009	SK-23	L1	Sapanca	268168	4507903	65	80	7,33	13,10	574	6,32	230	318	210	çok sert	55,77	17,30	5,80	0,79	8,22	25,46	228,17

EK-7a (Devam): Sapanca Havzası'ndaki kuyuların kimyasal analiz sonuçları-Mayıs 2009

Örnekleme Tarihi	Kuyu No	Kuyu Adı	Kuyu Yeri	X	Y	KOT(m)	Kuyu Derinlik (m)	NO_3^-	NO_2^-	Toplam Fosfor (TP)	Amonyum Azotu ($NH4^+$-N)	TOK	Si	Al	Fe	Mn	Ba	Rb	Sr	Pb	U
								mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
08.05.2009	SK-1	37612	Maşukiye	259376	4509373	40	66	3,45	<0,05	<0,020	<0,04	<0,1	8172	<2,0	124,90	<0,05	8,19	0,21	120,90	<0,05	<0,03
08.05.2009	SK-2	Cansu alabalık	Maşukiye	259643	4509962	35	40	3,05	<0,05	<0,020	<0,04	<0,1	4731	<2,0	163,60	<0,05	5,44	0,18	139,00	<0,05	0,14
08.05.2009	SK-5	37611	Maşukiye	258750	4509613	43	80	11,68	<0,05	<0,020	<0,04	<0,1	6347	<2,0	152,90	<0,05	6,92	0,12	134,50	<0,05	0,06
08.05.2009	SK-7	37610	Maşukiye	257252	4510504	45	74	18,97	<0,05	<0,020	<0,04	0,47	4884	<2,0	553,60	<0,05	10,31	0,04	236,70	<0,05	0,79
08.05.2009	SK-8	Özel bahce	Maşukiye	257277	4510623	32	70	12,57	<0,05	<0,020	<0,04	0,27	5283	<2,0	544,90	3,28	6,96	0,09	205,80	<0,05	0,88
08.05.2009	SK-9	37614	Maşukiye	256835	4510393	50	64	10,42	<0,05	<0,020	<0,04	0,41	6265	<2,0	374,50	0,18	11,74	0,06	149,70	<0,05	0,51
08.05.2009	SK-10	Coca Cola	Maşukiye	257579	4510685	45	-	2,12	<0,05	<0,020	<0,04	<0,1	5773	<2,0	150,20	<0,05	10,44	0,08	117,00	<0,05	0,05
08.05.2009	SK-11	Göksu Sitesi	Maşukiye	258003	4510873	31	60	2,42	<0,05	<0,020	<0,04	0,78	6444	<2,0	152,00	0,39	7,30	0,18	147,10	<0,05	<0,03
08.05.2009	SK-12	Muhtarlik	Yanık	261954	4508734	60	100	5,36	<0,05	<0,020	<0,04	0,17	4388	<2,0	152,50	<0,05	4,49	0,11	93,17	<0,05	0,12
08.05.2009	SK-13	27132-İ.Ü.	Kurtköy	263831	4507959	82	60	2,91	<0,05	<0,020	<0,04	<0,1	3479	<2,0	141,20	<0,05	3,47	0,10	177,30	<0,05	0,10
08.05.2009	SK-14	Bel. Sndj	Kurtköy	262887	4509244	37	70	1,93	<0,05	<0,020	<0,04	<0,1	6794	<2,0	136,30	0,19	4,21	<0,04	119,10	<0,05	0,07
08.05.2009	SK-15	Belediye yanı	Kırkpınar	265200	4508415	60	-	1,72	<0,05	<0,020	<0,04	<0,1	5739	2,57	104,80	<0,05	8,12	<0,04	132,60	<0,05	0,20
08.05.2009	SK-19	L5 Atilla 1	Sapanca	269702	4507659	33	58	10,03	<0,05	<0,020	<0,04	0,30	6349	<2,0	372,30	2,02	6,57	0,16	239,10	<0,05	0,18
08.05.2009	SK-20	L10	Sapanca	268363	4507547	55	52	9,86	<0,05	<0,020	<0,04	<0,1	4376	<2,0	151,80	<0,05	4,77	0,12	259,10	<0,05	0,12
08.05.2009	SK-21	L2	Sapanca	268138	4507626	60	84	10,04	<0,05	<0,020	<0,04	0,19	3989	<2,0	426,30	<0,05	4,81	0,07	299,00	<0,05	0,63
08.05.2009	SK-22	L3	Sapanca	267628	4507601	68	-	5,45	<0,05	<0,020	<0,04	0,11	4029	<2,0	144,20	<0,05	3,20	0,06	214,00	<0,05	0,14
08.05.2009	SK-23	L1	Sapanca	268168	4507903	65	80	10,40	<0,05	<0,020	<0,04	<0,1	4705	<2,0	145,30	<0,05	2,80	0,07	234,60	<0,05	0,12

EK-7b: Sapanca Havzası'ndaki kuyuların fizikokimyasal analiz sonuçları-Eylül 2009

Örnekleme Tarihi	Kuyu No	Kuyu Adı	Kuyu Yeri	X	Y	KOT	Kuyu Derinlik	pH	Sıcaklık (T)	Elektriksel İletkenlik (EC)	Çözünmüş Oksijen (ÇO)	Alkalinite ($CaCO_3$)	Toplam Çözünmüş Madde (TDS)	Toplam Sertlik ($CaCO_3$)	Sertlik Sınıflama	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	SO_4^{-2}	HCO_3^{-}
						m	m		ºC	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
25.09.2009	SK-1	37612	Maşukiye	259376	4509373	40	66	7,83	14,90	398	6,10	217	240	146	sert	50,10	4,99	8,61	0,63	4,20	<1	215,28
25.09.2009	SK-2	Cansu alabalık	Maşukiye	259643	4509962	35	40	7,83	13,30	414	6,01	195,5	250	184	çok sert	52,04	13,14	5,54	0,86	3,40	26,00	193,94
25.09.2009	SK-3	Ziya bey	Maşukiye	259714	4509267	58	55	7,54	14,50	372	3,27	175	228	132	sert	40,70	7,30	11,33	0,65	7,60	6,90	173,60
25.09.2009	SK-4	Yayla alabalık	Maşukiye	259561	4509760	30	60	7,39	14,20	492	3,93	210,5	299	178	sert	52,42	11,34	12,17	1,08	12,40	11,60	208,83
25.09.2009	SK-5	37611	Maşukiye	258750	4509613	43	80	7,61	13,50	474	5,03	219	280	149	sert	58,90	0,44	5,81	0,67	9,80	10,10	217,26
25.09.2009	SK-7	37610	Maşukiye	257252	4510504	45	74	7,52	13,40	670	5,46	311	411	281	çok sert	96,45	9,84	7,47	0,64	11,90	28,00	308,55
25.09.2009	SK-8	Özel bahçe	Maşukiye	257277	4510623	32	70	7,68	13,00	554	5,32	259,5	330	232	çok sert	79,91	7,99	5,28	0,55	8,50	21,90	257,45
25.09.2009	SK-9	37614	Maşukiye	256835	4510393	50	64	7,74	14,40	479	4,28	236,2	301	191	çok sert	64,02	7,63	7,38	0,53	7,00	9,90	234,33
25.09.2009	SK-10	Coca Cola	Maşukiye	257579	4510685	45	-	7,98	13,00	410	4,79	196	248	152	sert	51,96	5,45	3,75	0,53	5,50	16,10	194,44
25.09.2009	SK-11	Göksu sitesi	Maşukiye	258003	4510873	31	60	7,63	15,40	391	4,10	198,5	243	145	sert	48,64	5,82	11,77	0,55	2,00	2,40	196,92
25.09.2009	SK-12	Muhtarlık	Yanık	261954	4508734	60	100	7,69	12,20	420	8,15	199,5	251	163	sert	59,96	3,30	4,42	0,88	5,90	13,90	197,91
25.09.2009	SK-13	27132-İ.Ü.	Kurtköy	263831	4507959	82	60	7,57	11,40	323	6,53	147	201	110	orta sert	31,94	7,28	3,80	0,69	3,70	20,60	145,82
25.09.2009	SK-14	Belediye sondajı	Kurtköy	262887	4509244	37	70	7,68	14,30	302	4,02	183,2	179	151	sert	49,05	7,04	5,52	0,58	3,40	13,10	181,74
25.09.2009	SK-15	Belediye yanı	Kırkpınar	265200	4508415	60	-	7,67	13,90	307	3,88	146,7	191	100	orta sert	28,10	7,28	19,97	0,61	2,90	12,20	145,52
25.09.2009	SK-19	L5 Atilla 1	Sapanca	269702	4507659	33	58	7,64	13,30	499	8,31	221,5	318	205	çok sert	53,14	17,67	9,48	0,93	10,10	27,00	219,74
25.09.2009	SK-20	L10	Sapanca	268363	4507547	55	52	7,79	13,70	498	6,68	237	320	204	çok sert	65,66	9,73	6,77	0,93	6,00	27,60	235,12
25.09.2009	SK-21	L2	Sapanca	268138	4507626	60	84	7,83	13,50	543	6,55	246,5	348	215	çok sert	67,42	11,24	7,23	1,03	8,60	27,40	244,55
25.09.2009	SK-22	L3	Sapanca	267628	4507601	68	-	7,86	12,60	497	9,54	235,7	295	200	çok sert	60,85	11,59	7,16	0,85	7,50	26,40	233,83
25.09.2009	SK-23	L1	Sapanca	268168	4507903	65	80	7,76	13,20	573	5,68	262,5	358	265	çok sert	73,10	19,94	12,50	1,59	11,30	30,50	260,42
25.09.2009	SK-24	Kestanelik	Sapanca	268184	4507624	51	66	7,78	13,40	549	8,55	255	331	234	çok sert	75,28	11,10	7,59	1,15	8,10	28,80	252,98

EK-7b (Devam): Sapanca Havzası'ndaki kuyuların kimyasal analiz sonuçları-Eylül 2009

Örnekleme Tarihi	Kuyu No	Kuyu Adı	Kuyu Yeri	X	Y	KOT(m)	Kuyu Derinlik (m)	NO_3^-	NO_2^-	Toplam Fosfor (TP)	Amonyum Azotu ($NH4^+$-N)	TOK	Si	Al	Fe	Mn	Ba	Rb	Sr	Pb	U
						m	m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
25.09.2009	SK-1	37612	Maşukiye	259376	4509373	40	66	<0,2	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	7612,11	<2,0	<1	<0.05	9,13	0,24	110,50	<0,022	0,11
25.09.2009	SK-2	Cansu alabalık	Maşukiye	259643	4509962	35	40	2,70	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	4469,25	<2,0	1,17	<0.05	7,64	0,13	134,20	<0,022	0,83
25.09.2009	SK-3	Ziya bey	Maşukiye	259714	4509267	58	55	<0,2	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	8260,18	1,26	0,19	<0.05	16,96	0,09	118,10	<0,022	0,09
25.09.2009	SK-4	Yayla alabalık	Maşukiye	259561	4509760	30	60	10,80	<0,2	<0,020	<0,04	0,35	6212,23	1,01	<1	<0.05	14,33	0,07	151,70	<0,022	0,67
25.09.2009	SK-5	37611	Maşukiye	258750	4509613	43	80	11,00	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	5914,84	<2,0	<1	<0.05	9,30	0,05	124,70	<0,022	0,40
25.09.2009	SK-7	37610	Maşukiye	257252	4510504	45	74	18,30	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	4963,21	<2,0	<1	<0.05	9,33	0,03	142,20	<0,022	0,05
25.09.2009	SK-8	Özel bahçe	Maşukiye	257277	4510623	32	70	12,40	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	5848,89	<2,0	<1	<0.05	5,79	0,05	113,50	<0,022	0,03
25.09.2009	SK-9	37614	Maşukiye	256835	4510393	50	64	9,50	<0,2	<0,020	<0,04	0,23	6607,62	<2,0	<1	<0.05	17,08	0,07	123,20	<0,022	0,34
25.09.2009	SK-10	Coca Cola	Maşukiye	257579	4510685	45	-	<0,2	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	5426,03	<2,0	<1	<0.05	16,00	0,03	99,95	<0,022	0,06
25.09.2009	SK-11	Göksu sitesi	Maşukiye	258003	4510873	31	60	<0,2	<0,2	<0,020	0,55	0,89	7584,78	1,30	0,04	<0.05	9,29	0,16	132,80	<0,022	0,10
25.09.2009	SK-12	Muhtarlık	Yanık	261954	4508734	60	100	4,20	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	4413,42	0,54	<1	<0.05	5,93	0,07	88,11	<0,022	0,39
25.09.2009	SK-13	27132-İ.Ü.	Kurtköy	263831	4507959	82	60	3,10	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	3475,57	<2,0	<1	<0.05	4,96	0,05	175,80	<0,022	0,18
25.09.2009	SK-14	Belediye sondajı	Kurtköy	262887	4509244	37	70	1,90	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	6524,15	<2,0	<1	<0.05	5,39	0,02	100,10	<0,022	0,38
25.09.2009	SK-15	Belediye yanı	Kırkpınar	265200	4508415	60	-	1,60	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	5540,45	0,27	<1	<0.05	5,41	0,04	129,80	<0,022	0,44
25.09.2009	SK-19	L5 Atilla 1	Sapanca	269702	4507659	33	58	8,40	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	7516,19	0,51	<1	<0.05	7,73	0,13	195,30	<0,022	0,13
25.09.2009	SK-20	L10	Sapanca	268363	4507547	55	52	6,10	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	4105,38	<2,0	<1	<0.05	5,72	0,04	206,00	<0,022	0,38
25.09.2009	SK-21	L2	Sapanca	268138	4507626	60	84	12,30	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	4559,40	0,10	<1	<0.05	5,01	0,03	218,80	<0,022	0,23
25.09.2009	SK-22	L3	Sapanca	267628	4507601	68	-	8,80	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	3968,24	<2,0	<1	<0.05	2,07	<0,04	77,55	<0,022	0,02
25.09.2009	SK-23	L1	Sapanca	268168	4507903	65	80	18,60	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	4556,11	2,63	<1	<0.05	6,37	0,13	325,90	<0,022	0,67
25.09.2009	SK-24	Kestanelik	Sapanca	268184	4507624	51	66	8,20	<0,2	<0,020	<0,04	<0,2	4618,21	0,52	<1	<0.05	5,51	0,06	235,40	<0,022	0,13

EK-7c: Sapanca Havzası'ndaki kuyuların fizikokimyasal analiz sonuçları-Nisan 2010

Örnekleme Tarihi	Kuyu No	Kuyu Adı	Kuyu Yeri	X	Y	KOT	Kuyu Derinlik	pH	Sıcaklık (T)	Elektriksel İletkenlik (EC)	Çözünmüş Oksijen (ÇO)	Alkalinite ($CaCO_3$)	Toplam Çözünmüş Madde (TDS)	Toplam Sertlik ($CaCO_3$)	Sertlik Sınıflama	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	SO_4^{-2}	HCO_3^{-}
						m	m		°C	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
26.04.2010	SK-1	37612	Maşukiye	259376	4509373	40	66	7,54	14,40	410	6,39	198	348	156	sert	53,85	5,23	8,94	0,63	7,80	4,49	196,42
26.04.2010	SK-2	Cansu alabalık	Maşukiye	259643	4509962	35	40	7,62	13,30	422	5,80	191	367	173	sert	48,11	12,87	5,82	0,84	3,40	26,33	189,58
26.04.2010	SK-3	Ziya bey	Maşukiye	259714	4509267	58	55	7,22	14,60	380	2,76	183	327	138	sert	41,48	8,36	12,44	0,74	7,22	7,25	181,54
26.04.2010	SK-4	Yayla alabalık	Maşukiye	259561	4509760	30	60	7,32	13,60	484	5,22	219	424	177	sert	50,88	12,14	13,08	1,12	12,49	11,51	217,26
26.04.2010	SK-5	37611	Maşukiye	258750	4509613	43	80	7,43	13,50	489	5,37	226	425	192	çok sert	68,93	4,83	6,29	0,72	9,40	9,94	223,81
26.04.2010	SK-7	37610	Maşukiye	257252	4510504	45	74	7,27	13,00	690	7,73	317	592	283	çok sert	96,81	9,94	8,25	0,68	11,50	27,43	314,10
26.04.2010	SK-8	Özel bahçe	Maşukiye	257277	4510623	32	70	7,56	12,20	578	5,72	264	502	235	çok sert	80,15	8,58	5,79	0,63	8,53	21,60	262,31
26.04.2010	SK-9	37614	Maşukiye	256835	4510393	50	64	7,54	13,60	509	-	242	437	198	çok sert	65,33	8,50	7,93	0,61	6,75	9,90	240,28
26.04.2010	SK-10	Coca Cola	Maşukiye	257579	4510685	45	-	7,63	12,80	432	4,61	201	373	178	sert	61,46	6,03	4,16	0,58	5,08	17,05	199,60
26.04.2010	SK-11	Göksu sitesi	Maşukiye	258003	4510873	31	60	7,6	14,00	405	1,36	210	344	148	sert	49,29	6,12	12,07	0,54	1,96	2,06	208,33
26.04.2010	SK-12	Muhtarlık	Yanık	261954	4508734	60	100	7,71	12,10	428	11,54	203	365	174	sert	63,71	3,66	4,99	0,95	5,42	13,64	200,99
26.04.2010	SK-13	27132-İ.Ü.	Kurtköy	263831	4507959	82	60	7,4	10,50	300	7,22	126	258	112	orta sert	29,82	9,14	5,47	0,96	3,52	18,62	124,58
26.04.2010	SK-14	Belediye sondajı	Kurtköy	262887	4509244	37	70	6,96	15,70	313	5,09	139	271	118	orta sert	33,94	8,01	5,99	0,71	3,75	13,31	137,88
26.04.2010	SK-15	Belediye yanı	Kırkpınar	265200	4508415	60	-	7,65	13,50	367	9,49	133	260	79	orta sert	19,58	7,33	11,05	0,81	4,17	12,92	131,63
26.04.2010	SK-16	Belediye arkası	Kırkpınar	265690	4508794	48	89	7,55	14,10	412	8,02	212	348	79	orta sert	17,73	8,34	50,74	0,57	2,30	7,56	210,31
26.04.2010	SK-17	Manors sitesi	Kırkpınar	264498	4508409	65	98	7,38	12,30	304	9,99	131	258	120	sert	36,27	7,18	3,90	0,58	2,72	18,69	129,94
26.04.2010	SK-20	L10	Sapanca	268363	4507547	55	52	7,53	12,40	542	7,78	245	476	218	çok sert	68,20	11,49	8,80	0,98	7,63	27,64	243,06
26.04.2010	SK-21	L2	Sapanca	268138	4507626	60	84	7,45	12,80	604	9,93	279	521	247	çok sert	77,56	12,92	9,25	1,20	7,55	30,83	276,50
26.04.2010	SK-22	L3	Sapanca	267628	4507601	68	-	7,7	12,40	500	10,03	225	428	200	çok sert	60,53	11,77	7,63	0,86	5,82	25,51	223,61
26.04.2010	SK-23	L1	Sapanca	268168	4507903	65	80	7,58	12,90	573	7,57	252	496	227	çok sert	68,03	13,94	8,46	1,07	9,48	28,46	250,00
26.04.2010	SK-24	Kestanelik	Sapanca	268184	4507624	51	66	7,51	12,8	596	10,09	277	517	248	çok sert	78,86	12,32	8,44	1,16	7,49	31,05	275,01

EK-7c (Devam): Sapanca Havzası'ndaki kuyuların kimyasal analiz sonuçları-Nisan 2010

Örnekleme Tarihi	Kuyu No	Kuyu Adı	Kuyu Yeri	X	Y	KOT	Kuyu Derinlik	NO_3^-	NO_2^-	Toplam Fosfor (TP)	Amonyum Azotu ($NH4^+$-N)	TOK	Al	Fe	Mn	Ba	Rb	Sr	Pb	U
						m	m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
26.04.2010	SK-1	37612	Maşukiye	259376	4509373	40	66	3,41	<0,2	<0,020	<0,2	0,92	2,05	3,63	58,92	14,62	0,29	140,10	<0,022	0,19
26.04.2010	SK-2	Cansu alabalık	Maşukiye	259643	4509962	35	40	2,93	<0,2	<0,020	<0,2	1,50	1,98	2,80	4,25	9,69	0,14	159,10	<0,022	0,85
26.04.2010	SK-3	Ziya bey	Maşukiye	259714	4509267	58	55	<0,2	<0,2	<0,020	<0,2	1,60	5,43	5,01	217,40	22,13	0,07	133,90	<0,022	0,29
26.04.2010	SK-4	Yayla alabalık	Maşukiye	259561	4509760	30	60	9,77	<0,2	<0,020	<0,2	1,31	2,61	<1	16,07	19,43	0,04	182,20	0,03	1,26
26.04.2010	SK-5	37611	Maşukiye	258750	4509613	43	80	11,19	<0,2	<0,020	<0,2	0,90	2,43	<1	0,07	11,52	0,07	153,70	<0,022	0,66
26.04.2010	SK-7	37610	Maşukiye	257252	4510504	45	74	18,22	<0,2	<0,020	<0,2	0,77	3,23	<1	0,25	15,20	0,05	225,60	<0,022	2,29
26.04.2010	SK-8	Özel bahçe	Maşukiye	257277	4510623	32	70	12,54	<0,2	<0,020	<0,2	0,64	3,12	<1	5,21	9,84	0,09	190,80	0,03	2,52
26.04.2010	SK-9	37614	Maşukiye	256835	4510393	50	64	9,81	<0,2	<0,020	<0,2	0,84	3,15	0,43	0,37	20,85	0,08	150,60	0,03	1,84
26.04.2010	SK-10	Coca Cola	Maşukiye	257579	4510685	45	-	1,61	<0,2	<0,020	<0,2	1,40	1,83	2,08	0,08	18,87	0,07	127,60	<0,022	0,23
26.04.2010	SK-11	Göksu sitesi	Maşukiye	258003	4510873	31	60	<0,2	<0,2	<0,020	0,56	1,99	2,56	0,76	149,80	12,92	0,17	164,70	0,07	0,06
26.04.2010	SK-12	Muhtarlık	Yanık	261954	4508734	60	100	4,02	<0,2	<0,020	<0,2	0,94	2,67	<1	0,38	7,65	0,10	111,00	<0,022	0,99
26.04.2010	SK-13	27132-İ.Ü.	Kurtköy	263831	4507959	82	60	2,89	<0,2	<0,020	<0,2	1,04	4,24	<1	0,04	7,12	0,18	243,70	<0,022	0,46
26.04.2010	SK-14	Belediye sondajı	Kurtköy	262887	4509244	37	70	2,22	<0,2	<0,020	<0,2	0,73	2,34	0,66	42,66	5,72	0,04	124,50	<0,022	0,24
26.04.2010	SK-15	Belediye yanı	Kırkpınar	265200	4508415	60	-	5,35	<0,2	<0,020	<0,2	1,17	3,06	3,51	0,21	5,36	0,22	158,80	0,09	0,45
26.04.2010	SK-16	Belediye arkası	Kırkpınar	265690	4508794	48	89	0,19	<0,2	<0,020	<0,2	1,06	4,70	0,25	30,14	6,29	0,04	148,00	<0,022	3,79
26.04.2010	SK-17	Manors sitesi	Kırkpınar	264498	4508409	65	98	2,83	<0,2	<0,020	<0,2	1,38	2,22	<1	0,29	3,53	0,00	179,30	<0,022	0,67
26.04.2010	SK-20	L10	Sapanca	268363	4507547	55	52	8,09	<0,2	<0,020	<0,2	0,68	2,87	<1	0,05	7,92	0,08	284,20	0,05	1,87
26.04.2010	SK-21	L2	Sapanca	268138	4507626	60	84	9,75	<0,2	<0,020	<0,2	0,77	3,38	<1	0,68	8,07	0,09	321,30	<0,022	1,90
26.04.2010	SK-22	L3	Sapanca	267628	4507601	68	-	6,68	<0,2	<0,020	<0,2	0,87	2,43	<1	0,69	6,15	0,02	255,40	<0,022	2,00
26.04.2010	SK-23	L1	Sapanca	268168	4507903	65	80	15,95	<0,2	<0,020	<0,2	1,68	2,81	<1	17,30	6,41	0,05	297,40	0,81	1,98
26.04.2010	SK-24	Kestanelik	Sapanca	268184	4507624	51	66	8,42	<0,2	<0,020	<0,2	0,99	3,34	<1	0,53	7,90	0,07	319,80	<0,022	1,94

EK-7d: Sapanca Havzası'ndaki kuyuların fizikokimyasal analiz sonuçları-Şubat 2010

Örnekleme Tarihi	Kuyu No	Kuyu Adı	Kuyu Yeri	X	Y	KOT	Kuyu Derinlik	pH	Sıcaklık (T)	Elektriksel İletkenlik (EC)	Çözünmüş Oksijen (ÇO)	Alkalinite ($CaCO_3$)	Toplam Çözünmüş Madde (TDS)	Toplam Sertlik ($CaCO_3$)	Sertlik Sınıflama	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	SO_4^{-2}	HCO_3^{-}
						m	m		°C	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
18.02.2010	SK-1	37612	Maşukiye	259376	4509373	40	66	6,93	14,20	411	6,47	180	298	190	çok sert	67,40	5,29	8,20	0,20	15,34	21,55	179,85
18.02.2010	SK-2	Cansu alabalık	Maşukiye	259643	4509962	35	40	7,29	13,30	416	6,48	175	289	195	çok sert	57,40	12,50	5,42	0,24	5,16	33,38	174,67
18.02.2010	SK-3	Ziya bey	Maşukiye	259714	4509267	58	55	6,96	14,70	384	2,39	173	280	172	sert	54,50	8,70	13,00	0,30	11,59	19,51	172,85
18.02.2010	SK-4	Yayla alabalık	Maşukiye	259561	4509760	30	60	7,18	13,90	435	3,21	195	308	201	çok sert	60,10	12,30	11,10	1,12	7,03	21,40	194,72
18.02.2010	SK-5	37611	Maşukiye	258750	4509613	43	80	7,18	13,40	485	5,80	196	330	248	çok sert	91,00	5,00	6,11	0,23	10,58	21,75	195,71
18.02.2010	SK-7	37610	Maşukiye	257252	4510504	45	74	7,04	13,00	688	7,01	260	433	317	çok sert	109,00	10,80	7,64	0,21	10,63	34,61	259,73
18.02.2010	SK-8	Özel bahçe	Maşukiye	257277	4510623	32	70	7,07	12,80	571	6,26	233	385	286	çok sert	100,00	8,88	5,46	0,18	9,74	28,08	232,74
18.02.2010	SK-9	37614	Maşukiye	256835	4510393	50	64	7,25	13,90	506	6,34	225	355	243	çok sert	83,30	8,50	7,02	0,23	8,02	23,79	224,62
18.02.2010	SK-10	Coca Cola	Maşukiye	257579	4510685	45	-	7,43	12,70	432	3,86	192	313	218	çok sert	76,60	6,57	4,50	0,20	8,12	25,83	191,50
18.02.2010	SK-11	Göksu sitesi	Maşukiye	258003	4510873	31	60	7,34	14,00	405	1,16	190	294	181	çok sert	61,70	6,54	12,00	0,20	3,77	20,53	189,60
18.02.2010	SK-12	Muhtarlık	Yanık	261954	4508734	60	100	7,38	10,50	354	9,94	150	251	176	sert	64,70	3,49	3,31	0,22	7,09	22,16	149,65
18.02.2010	SK-13	27132-İ.Ü.	Kurtköy	263831	4507959	82	60	6,91	11,10	339	8,58	128	228	168	sert	53,60	8,30	4,92	0,25	3,43	29,30	127,90
18.02.2010	SK-14	Belediye sondajı	Kurtköy	262887	4509244	37	70	7,07	14,40	313	6,45	145	225	149	sert	46,00	8,34	5,88	0,20	3,57	16,04	144,83
18.02.2010	SK-15	Belediye yanı	Kırkpınar	265200	4508415	60	-	6,94	10,50	358	9,22	147	248	154	sert	46,50	9,12	13,10	0,18	7,06	25,42	146,88
18.02.2010	SK-17	Manors sitesi	Kırkpınar	264498	4508409	65	98	7,26	12,00	306	8,49	123	209	146	sert	45,80	7,57	3,94	0,17	5,27	23,38	122,78
18.02.2010	SK-20	L10	Sapanca	268363	4507547	55	52	7,11	13,40	558	8,07	200	361	275	çok sert	89,90	12,20	9,75	0,31	8,43	40,53	199,75
18.02.2010	SK-21	L2	Sapanca	268138	4507626	60	84	7,3	12,60	593	9,30	200	365	297	çok sert	97,20	13,30	8,32	1,18	9,27	35,63	199,62
18.02.2010	SK-22	L3	Sapanca	267628	4507601	68	-	7,48	11,90	494	7,64	186	315	231	çok sert	73,30	11,70	6,84	0,26	6,08	31,75	185,46
18.02.2010	SK-23	L1	Sapanca	268168	4507903	65	80	7,35	12,20	510	7,00	170	307	249	çok sert	77,60	13,40	7,01	0,28	8,06	31,34	169,63
18.02.2010	SK-24	Kestanelik	Sapanca	268184	4507624	51	66	7,21	12,60	565	6,15	225	372	266	çok sert	86,80	12,00	7,26	0,34	6,72	34,40	224,65

EK-7d (Devam): Sapanca Havzası'ndaki kuyuların kimyasal analiz sonuçları-Şubat 2010

Örnekleme Tarihi	Kuyu No	Kuyu Adı	Kuyu Yeri	X	Y	KOT	Kuyu Derinlik	Al	Fe	Mn	Ba	Rb	Sr	Pb	U	Li6	B	Cr52	Ni60	Cu63	Zn66	As75
						m	m	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
18.02.2010	SK-1	37612	Maşukiye	259376	4509373	40	66	0,72	<1	42,60	11,30	0,13	93,05	0,30	0,17	0,31	3,72	8,85	1,97	0,94	18,10	0,32
18.02.2010	SK-2	Cansu alabalık	Maşukiye	259643	4509962	35	40	<2,0	<1	6,98	7,50	0,10	110,00	<0.022	1,17	0,56	16,60	8,54	1,42	0,10	dl	0,67
18.02.2010	SK-3	Ziya bey	Maşukiye	259714	4509267	58	55	0,86	<1	118,00	18,60	0,28	116,50	0,09	0,42	0,68	38,25	6,41	1,73	1,19	15,50	1,16
18.02.2010	SK-4	Yayla alabalık	Maşukiye	259561	4509760	30	60	<2,0	<1	6,36	8,00	0,06	86,30	<0.022	0,83	0,36	38,65	7,76	1,27	0,03	dl	1,04
18.02.2010	SK-5	37611	Maşukiye	258750	4509613	43	80	<2,0	<1	0,05	8,02	0,02	95,00	<0.022	0,57	0,39	4,93	10,10	1,85	0,03	dl	0,18
18.02.2010	SK-7	37610	Maşukiye	257252	4510504	45	74	0,03	<1	0,60	10,30	0,01	126,00	<0.022	1,51	0,17	11,60	13,10	3,09	0,27	dl	0,12
18.02.2010	SK-8	Özel bahçe	Maşukiye	257277	4510623	32	70	0,17	<1	3,86	6,69	0,03	103,50	<0.022	1,53	0,24	5,27	8,90	2,02	0,24	dl	0,24
18.02.2010	SK-9	37614	Maşukiye	256835	4510393	50	64	2,91	43,30	1,12	12,30	0,15	111,00	0,16	1,25	0,58	9,47	9,50	3,67	2,03	1,58	1,44
18.02.2010	SK-10	Coca Cola	Maşukiye	257579	4510685	45	-	2,21	130,00	1,53	18,40	0,12	110,50	0,24	0,41	0,50	16,20	8,40	2,43	1,01	1,35	5,56
18.02.2010	SK-11	Göksu sitesi	Maşukiye	258003	4510873	31	60	0,82	<1	83,40	11,60	0,19	119,00	0,12	0,11	0,44	50,40	7,37	10,10	1,38	1,21	35,40
18.02.2010	SK-12	Muhtarlık	Yanık	261954	4508734	60	100	<2,0	<1	0,40	9,26	0,10	53,35	0,21	0,58	0,17	3,56	6,52	1,96	0,62	5,03	0,50
18.02.2010	SK-13	27132-İ.Ü.	Kurtköy	263831	4507959	82	60	<2,0	<1	<0.05	4,96	0,04	130,00	0,01	1,10	0,88	5,95	5,87	1,05	0,23	dl	0,19
18.02.2010	SK-14	Belediye sondajı	Kurtköy	262887	4509244	37	70	<2,0	<1	20,80	4,18	0,01	75,15	0,00	0,69	0,51	1,90	5,59	0,94	0,06	dl	1,38
18.02.2010	SK-15	Belediye yanı	Kırkpınar	265200	4508415	60	-	<2,0	<1	0,11	11,70	0,01	114,50	0,15	1,35	0,84	4,76	6,50	1,01	2,00	4,42	0,15
18.02.2010	SK-17	Manors sitesi	Kırkpınar	264498	4508409	65	98	1,95	<1	1,19	2,22	0,00	104,50	0,04	1,75	0,30	1,51	4,76	1,35	3,72	12,80	0,22
18.02.2010	SK-20	L10	Sapanca	268363	4507547	55	52	0,06	<1	0,08	6,44	0,04	178,00	0,10	1,26	1,59	23,85	10,20	2,65	2,57	8,44	0,09
18.02.2010	SK-21	L2	Sapanca	268138	4507626	60	84	<2,0	<1	<0.05	5,59	0,04	172,50	0,10	1,22	1,20	8,79	10,60	9,97	0,59	2,47	0,10
18.02.2010	SK-22	L3	Sapanca	267628	4507601	68	-	<2,0	<1	0,01	4,28	0,00	163,00	0,04	1,69	1,30	6,83	9,63	2,03	0,61	0,91	0,07
18.02.2010	SK-23	L1	Sapanca	268168	4507903	65	80	0,11	<1	19,70	3,32	0,00	152,00	0,04	1,45	1,52	4,61	9,57	2,38	2,23	4,48	0,35
18.02.2010	SK-24	Kestanelik	Sapanca	268184	4507624	51	66	<2,0	<1	1,65	4,82	0,04	172,00	0,02	1,19	1,57	8,63	9,97	9,23	0,90	4,29	0,06

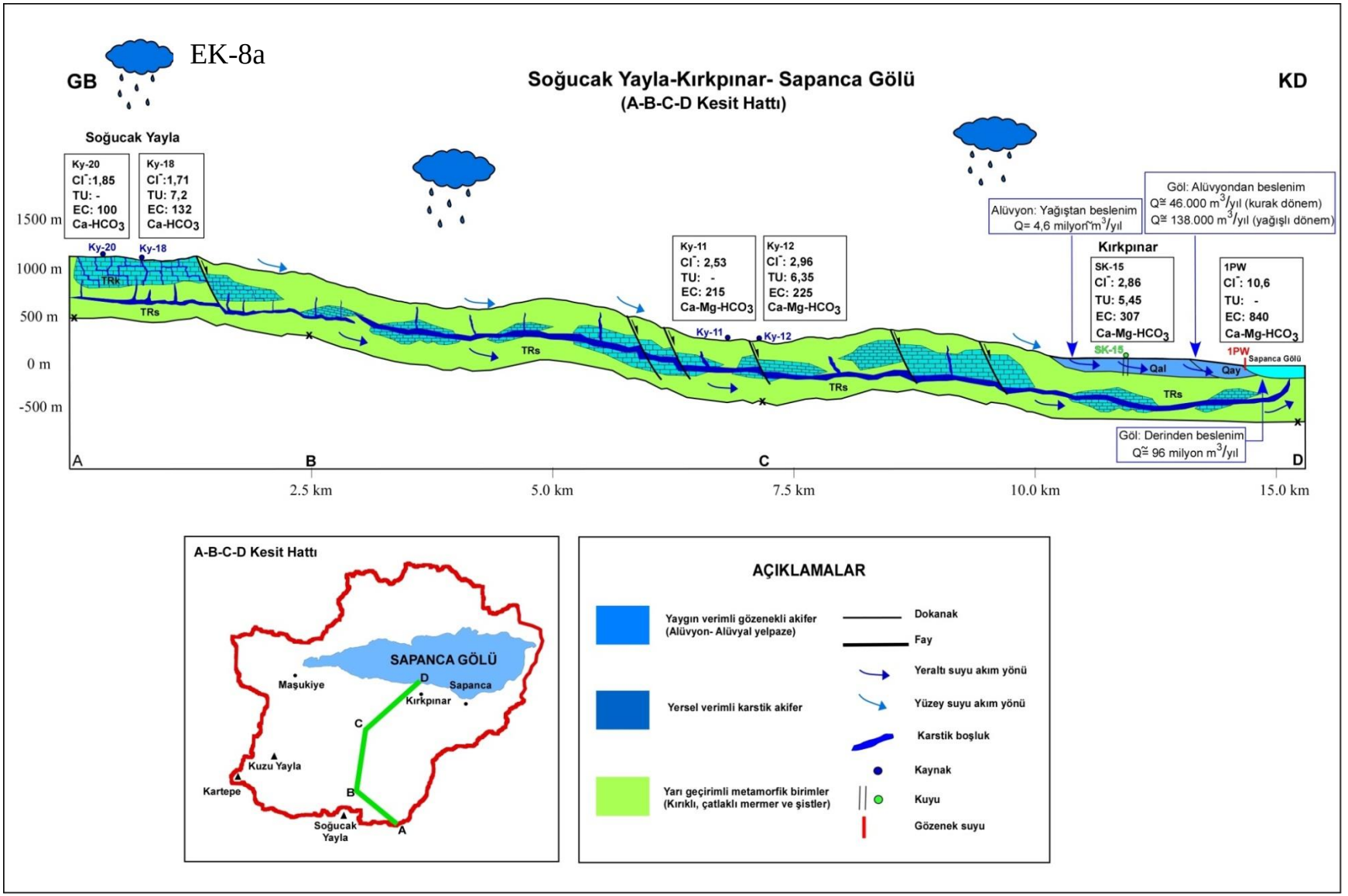
EK-7e: Sapanca Havzası'ndaki kuyuların fizikokimyasal analiz sonuçları-Haziran 2010

Örnekleme Tarihi	Kuyu No	Kuyu Adı	Kuyu Yeri	X	Y	KOT	Kuyu Derinlik	pH	Sıcaklık (T)	Elektriksel İletkenlik (EC)	Çözünmüş Oksijen (ÇO)	Alkalinite ($CaCO_3$)	Toplam Çözünmüş Madde (TDS)	Toplam Sertlik ($CaCO_3$)	Sertlik Sınıflama	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	SO_4^{-2}	HCO_3^{-}
						m	m		°C	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
18.06.2010	SK-1	37612	Maşukiye	259376	4509373	40	66	7,45	15,10	411	1,47	183	291	168	sert	56,4	6,61	9,68	0,934	9,12	25,42	182,50
18.06.2010	SK-2	Cansu alabalık	Maşukiye	259643	4509962	35	40	7,37	13,90	419	0,71	218	405	423	çok sert	70,6	60	6,34	1,16	7,09	42,57	217,51
18.06.2010	SK-3	Ziya bey	Maşukiye	259714	4509267	58	55	6,95	15,50	379	1,22	177	293	187	çok sert	58,1	10,3	13	0,943	9,66	24,61	176,85
18.06.2010	SK-4	Yayla alabalık	Maşukiye	259561	4509760	30	60	7,02	14,00	488	1,09	203	385	425	çok sert	78,8	55,5	13,7	1,39	6,64	26,44	202,80
18.06.2010	SK-5	37611	Maşukiye	258750	4509613	43	80	7,2	13,80	488	0,72	232	344	181	çok sert	62,4	6,04	6,79	1,02	10,03	26,24	231,65
18.06.2010	SK-7	37610	Maşukiye	257252	4510504	45	74	7,14	13,60	692	0,94	300	484	350	çok sert	117	14	8,88	0,962	4,3	39,71	299,60
18.06.2010	SK-8	Özel bahçe	Maşukiye	257277	4510623	32	70	7,17	13,10	580	0,66	250	402	271	çok sert	89,5	11,5	6,35	0,892	9,54	35,02	249,65
18.06.2010	SK-9	37614	Maşukiye	256835	4510393	50	64	7,24	14,4	509	0,87	225	359	247	çok sert	81,1	10,8	7,93	0,836	8,09	26,04	224,62
18.06.2010	SK-10	Coca Cola	Maşukiye	257579	4510685	45	-	7,35	13,00	436	1,21	190	322	241	çok sert	83,2	8,09	4,95	0,797	6,01	29,71	189,59
18.06.2010	SK-11	Göksu sitesi	Maşukiye	258003	4510873	31	60	7,53	15,10	403	1,69	197	313	207	çok sert	70,5	7,61	12,6	0,747	5,58	19,3	196,36
18.06.2010	SK-12	Muhtarlık	Yamık	261954	4508734	60	100	7,18	18,80	379	1,55	166	288	219	çok sert	80,3	4,53	4,59	1,13	4,79	27,26	165,76
18.06.2010	SK-13	27132-İ.Ü.	Kurtköy	263831	4507959	82	60	7,22	12,10	298	0,83	127	231	169	sert	52,8	9,05	4,27	1,02	5,18	31,95	126,79
18.06.2010	SK-14	Belediye sond	Kurtköy	262887	4509244	37	70	7,02	15,70	312	1,20	130	233	174	sert	52,4	10,5	6,42	0,932	4,56	28,48	129,87
18.06.2010	SK-15	Belediye yanı	Kırkpınar	265200	4508415	60	-	7,31	13,90	289	2,30	118	215	139	sert	40	9,44	12,9	0,866	4,01	29,91	117,76
18.06.2010	SK-16	Belediye arka	Kırkpınar	265690	4508794	48	89	7,55	15,70	394	3,29	189	313	132	sert	36,6	9,93	47,9	0,742	4,27	25,42	188,35
18.06.2010	SK-17	Manors sitesi	Kırkpınar	264498	4508409	65	98	7,34	12,80	303	0,92	121	227	164	sert	50,6	9,18	4,27	0,81	13,95	27,67	120,74
18.06.2010	SK-19	L5 Atilla 1	Sapanca	269702	4507659	33	58	7,39	13,20	497	1,81	209	415	489	çok sert	62,6	80,7	11,4	1,25	11,12	39,91	208,51
18.06.2010	SK-20	L10	Sapanca	268363	4507547	55	52	7,18	12,70	515	0,85	245	524	668	çok sert	108	96,8	15	2,04	17,15	40,73	244,64
18.06.2010	SK-21	L2	Sapanca	268138	4507626	60	84	7,21	12,80	557	1,73	243	423	390	çok sert	64	55,8	8,31	1,4	9,04	41,95	242,62
18.06.2010	SK-22	L3	Sapanca	267628	4507601	68	-	7,36	12,90	501	1,43	212	392	386	çok sert	63,9	55,1	8,67	1,21	9,58	41,55	211,53
18.06.2010	SK-23	L1	Sapanca	268168	4507903	65	80	7,3	13,00	575	1,34	255	445	422	çok sert	61,3	65,2	9,35	1,41	10,63	42,16	254,51
18.06.2010	SK-24	Kestanelik	Sapanca	268184	4507624	51	66	7,39	13,10	570	1,62	248	414	342	çok sert	49,8	52,8	8,21	1,43	12,43	41,75	247,42

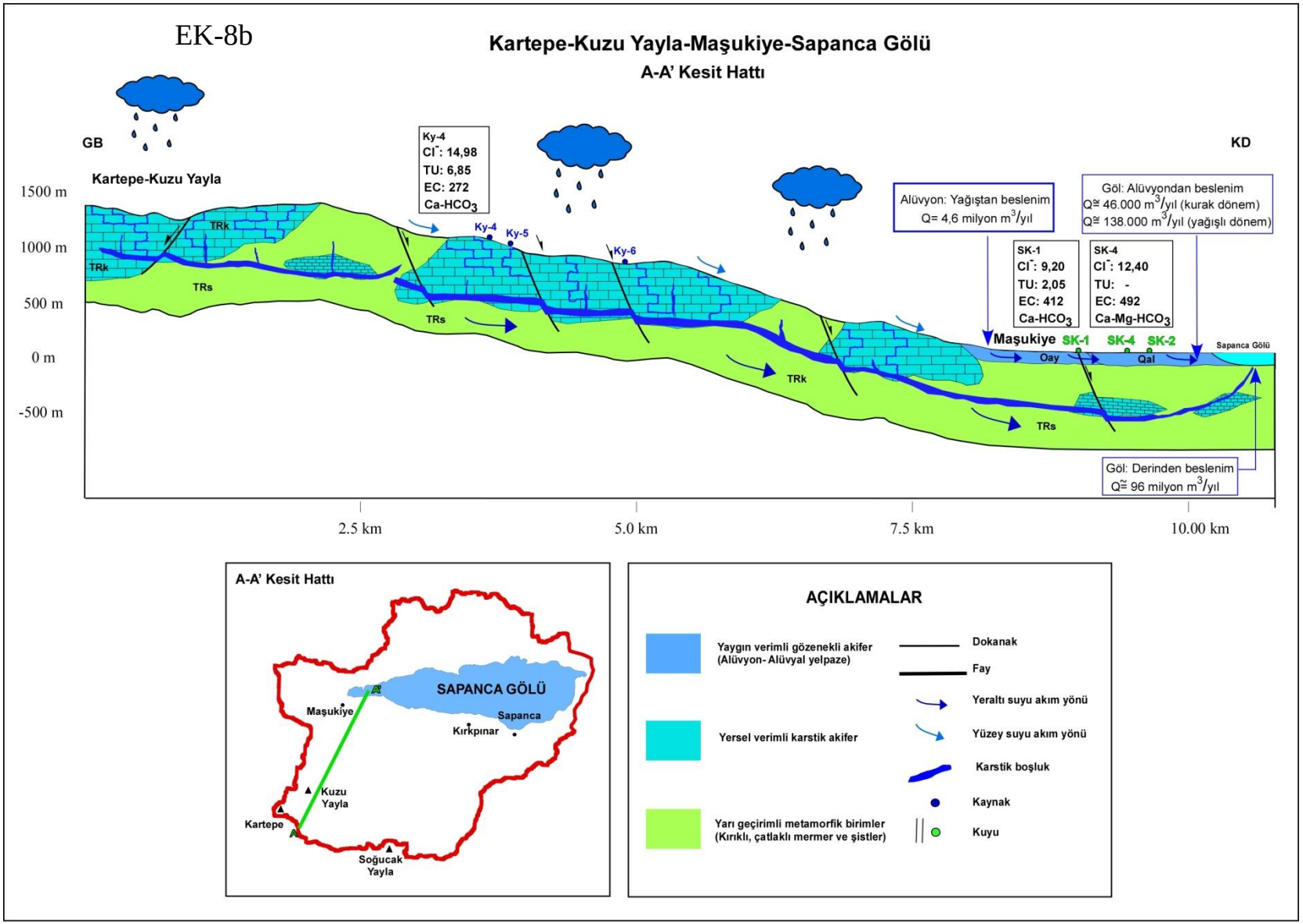
EK-7e (Devam): Sapanca Havzası'ndaki kuyuların kimyasal analiz sonuçları-Haziran 2010

Örnekleme Tarihi	Kuyu No	Kuyu Adı	Kuyu Yeri	X	Y	KOT	Kuyu Derinlik	Al	Fe	Mn	Ba	Rb	Sr	Pb	U	Li	B	Cr	Ni	Cu	Zn	As
						m	m	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
18.06.2010	SK-1	37612	Maşukiye	259376	4509373	40	66	<1	>dl	0,16	9,78	0,19	114	<0,01	0,03	0,85	<1	9,43	0,68	<0,01	1,39	0,49
18.06.2010	SK-2	Cansu alabalık	Maşukiye	259643	4509962	35	40	<1	>dl	0,31	6,58	0,11	142	<0,01	0,20	1,25	<1	12,70	0,05	<0,01	<0,01	0,08
18.06.2010	SK-3	Ziya bey	Maşukiye	259714	4509267	58	55	<1	>dl	<0,01	7,75	0,04	108	<0,01	0,06	1,24	<1	10,10	0,48	<0,01	3,28	20,90
18.06.2010	SK-4	Yayla alabalık	Maşukiye	259561	4509760	30	60	<1	>dl	5,61	14,2	0,01	161	<0,01	0,32	0,74	<1	13,00	0,71	<0,01	<0,01	1,16
18.06.2010	SK-5	37611	Maşukiye	258750	4509613	43	80	<1	>dl	<0,01	7,4	0,04	130	<0,01	0,09	0,88	<1	9,61	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
18.06.2010	SK-7	37610	Maşukiye	257252	4510504	45	74	<1	>dl	<0,01	10,5	0,02	198	<0,01	0,35	0,45	<1	16,60	0,91	<0,01	<0,01	<0,01
18.06.2010	SK-8	Özel bahçe	Maşukiye	257277	4510623	32	70	<1	>dl	0,24	6,44	0,06	168	<0,01	0,33	0,64	<1	12,60	0,44	<0,01	<0,01	<0,01
18.06.2010	SK-9	37614	Maşukiye	256835	4510393	50	64	<1	>dl	<0,01	11,4	0,03	131	<0,01	0,26	1,17	<1	13,30	0,44	<0,01	<0,01	0,53
18.06.2010	SK-10	Coca Cola	Maşukiye	257579	4510685	45	-	4,02	>dl	0,05	10,9	0,04	117	<0,01	0,09	0,87	<1	12,30	0,84	<0,01	177	4,78
18.06.2010	SK-11	Göksu sitesi	Maşukiye	258003	4510873	31	60	<1	>dl	17,10	7,8	0,12	140	<0,01	0,02	0,97	<1	12,10	1,05	<0,01	0,11	39,10
18.06.2010	SK-12	Muhtarlık	Yanık	261954	4508734	60	100	<1	>dl	<0,01	19	0,12	90	<0,01	0,15	0,50	<1	11,60	1,18	<0,01	7,40	0,13
18.06.2010	SK-13	27132-İ.Ü.	Kurtköy	263831	4507959	82	60	10,9	>dl	<0,01	2,95	0,05	165	<0,01	0,14	1,58	<1	8,46	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
18.06.2010	SK-14	Belediye sondajı	Kurtköy	262887	4509244	37	70	10,6	>dl	0,06	3,58	0,01	112	<0,01	0,12	1,18	<1	9,09	0,17	<0,01	0,02	1,30
18.06.2010	SK-15	Belediye yanı	Kırkpınar	265200	4508415	60	-	3,27	>dl	0,10	8,36	0,13	142	<0,01	0,19	1,50	<1	7,94	<0,01	<0,01	<0,01	0,09
18.06.2010	SK-16	Belediye arkası	Kırkpınar	265690	4508794	48	89	<1	>dl	<0,01	3,4	<0,01	120	<0,01	0,93	1,34	<1	11,40	<0,01	<0,01	<0,01	4,90
18.06.2010	SK-17	Manors sitesi	Kırkpınar	264498	4508409	65	98	<1	>dl	<0,01	1,46	<0,01	163	<0,01	0,23	0,67	<1	7,89	0,19	0,10	4,55	<0,01
18.06.2010	SK-19	L5 Atilla 1	Sapanca	269702	4507659	33	58	<1	>dl	<0,01	8,12	0,11	200	<0,01	0,09	2,84	<1	15,70	1,70	<0,01	<0,01	<0,01
18.06.2010	SK-20	L10	Sapanca	268363	4507547	55	52	<1	>dl	<0,01	8,76	0,03	420	<0,01	0,91	5,05	<1	18,80	1,00	<0,01	<0,01	<0,01
18.06.2010	SK-21	L2	Sapanca	268138	4507626	60	84	<1	>dl	<0,01	4,28	0,03	243	<0,01	0,23	2,88	<1	10,90	0,59	<0,01	<0,01	<0,01
18.06.2010	SK-22	L3	Sapanca	267628	4507601	68	-	<1	>dl	<0,01	3,07	<0,01	224	<0,01	0,30	3,15	<1	11,90	0,04	<0,01	<0,01	<0,01
18.06.2010	SK-23	L1	Sapanca	268168	4507903	65	80	<1	>dl	<0,01	3,25	0,02	253	<0,01	0,29	3,24	<1	11,20	0,22	<0,01	<0,01	<0,01
18.06.2010	SK-24	Kestanelik	Sapanca	268184	4507624	51	66	<1	>dl	<0,01	4,16	0,03	251	<0,01	0,18	3,06	<0,01	8,55	0,67	<0,01	<0,01	<0,01

EK-8a


GB
KD
Soğucak Yayla-Kırkpınar- Sapanca Gölü
(A-B-C-D Kesit Hattı)
Soğucak Yayla
Ky-20
Cl⁻:1,85
TU: -
EC: 100
Ca-HCO3
Ky-18
Cl⁻:1,71
TU: 7,2
EC: 132
Ca-HCO3
1500 m
1000 m
500 m
0 m
-500 m
TRk
TRs
Ky-11
Cl⁻: 2,53
TU: -
EC: 215
Ca-Mg-HCO3
Ky-12
Cl⁻: 2,96
TU: 6,35
EC: 225
Ca-Mg-HCO3
Alüvyon: Yağıştan beslenim
Q= 4,6 milyon m3/yıl
Göl: Alüvyondan beslenim
Q≅ 46.000 m3/yıl (kurak dönem)
Q≅ 138.000 m3/yıl (yağışlı dönem)
Kırkpınar
SK-15
Cl⁻: 2,86
TU: 5,45
EC: 307
Ca-Mg-HCO3
1PW
Cl⁻: 10,6
TU: -
EC: 840
Ca-Mg-HCO3
Qal
Qay
Sapanca Gölü
Göl: Derinden beslenim
Q≅ 96 milyon m3/yıl
A
B
C
D
2.5 km
5.0 km
7.5 km
10.0 km
15.0 km
A-B-C-D Kesit Hattı
SAPANCA GÖLÜ
Maşukiye
Sapanca
Kırkpınar
Kuzu Yayla
Kartepe
Soğucak Yayla
AÇIKLAMALAR
Yaygın verimli gözenekli akifer
(Alüvyon- Alüvyal yelpaze)
Yersel verimli karstik akifer
Yarı geçirimli metamorfik birimler
(Kırıklı, çatlaklı mermer ve şistler)
Dokanak
Fay
Yeraltı suyu akım yönü
Yüzey suyu akım yönü
Karstik boşluk
Kaynak
Kuyu
Gözenek suyu

EK-8b


Kartepe-Kuzu Yayla-Maşukiye-Sapanca Gölü
A-A' Kesit Hattı
GB
KD
Kartepe-Kuzu Yayla
1500 m
1000 m
500 m
0 m
-500 m
Ky-4
Cl⁻: 14,98
TU: 6,85
EC: 272
Ca-HCO3
Ky-4
Ky-5
Ky-6
TRk
TRs
TRs
TRk
TRs
Alüvyon: Yağıştan beslenim
Q= 4,6 milyon m3/yıl
Göl: Alüvyondan beslenim
Q≅ 46.000 m3/yıl (kurak dönem)
Q≅ 138.000 m3/yıl (yağışlı dönem)
SK-1
Cl⁻: 9,20
TU: 2,05
EC: 412
Ca-HCO3
SK-4
Cl⁻: 12,40
TU: -
EC: 492
Ca-Mg-HCO3
Maşukiye
SK-1
SK-4
SK-2
Sapanca Gölü
Oay
Qal
Göl: Derinden beslenim
Q≅ 96 milyon m3/yıl
2.5 km
5.0 km
7.5 km
10.00 km
A-A' Kesit Hattı
SAPANCA GÖLÜ
Maşukiye
Sapanca
Kırkpınar
Kuzu Yayla
Kartepe
Soğucak Yayla
AÇIKLAMALAR
Yaygın verimli gözenekli akifer (Alüvyon- Alüvyal yelpaze)
Yersel verimli karstik akifer
Yarı geçirimli metamorfik birimler (Kırıklı, çatlaklı mermer ve şistler)
Dokanak
Fay
Yeraltı suyu akım yönü
Yüzey suyu akım yönü
Karstik boşluk
Kaynak
Kuyu

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

Yolcubal I., **Ataş Gündüz Ö. C.,** Sönmez F., Assessment of Impact of Environmental Pollution on Groundwater and Surface Water Qualities in a Heavily Industrialized District of Kocaeli (Dilovası), Turkey, *Environmental Earth Sciences*, In Press.

Ataş Gündüz Ö. C., Yolcubal İ., Sapanca Göl Havzası Akifer Sistemlerinin Beslenim Boşalım Mekanizmasının Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal Açıdan Değerlendirilmesi, *Jeoloji Mühendisleri Odası 68. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, Türkiye, 6-10 Nisan 2015.

Ataş Gündüz Ö. C., Yolcubal I., Evaluation of Flow Dynamics in a Karst Aquifer System at Sapanca Lake Basin (Turkey) via Hydrochemical and Isotopic Data, *AGU Fall Meeting,* San Francisco, USA, 9-13 December 2013.

Yolcubal İ., **Ataş Gündüz Ö. C.,** Sapanca Göl Havzası'nın Yeraltı Suyu Potansiyeli, Sapanca Gölü Havza Koruma Projesi, *Yapay Sulak Alanlar Çalıştayı II,* Sakarya, Türkiye, 14 Haziran 2010.

Yolcubal İ., **Ataş Gündüz Ö. C.,** Sapanca Göl Havzası'nın Hidrojeolojisi, Sapanca Gölü Havza Koruma Projesi, *Yapay Sulak Alanlar Çalıştayı I,* Kocaeli, Türkiye, 8-9 Ağustos 2009.

Yolcubal I., Çelik S. G., Çiftçi E., **Ataş Gündüz Ö. C.,** The Role of Jarosite Secondary Mineral in Controlling Fate and Transport of Arsenic in Cu-Au Porphyry Mineralization, Eastern Turkey, *International Perspective on Water Resources and the Environment* 6th, İzmir, Turkey, 7-9 January 2013.

Yolcubal İ., **Ataş Gündüz Ö. C.,** Sönmez F., Dilovası'nın Hidrojeolojisi ve Yeraltısuyu Kalitesi, *Kocaeli Büyükşehir Belediyesi İzmit Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (İSU) Raporu,* 1, 1-55, 2011.

Yolcubal İ., **Ataş Gündüz Ö. C.,** Kurtuluş N., İzmit Ovası'nın Hidrojeolojisi ve Yeraltısuyu Kalitesi, *Kocaeli Büyükşehir Belediyesi İzmit Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (İSU) Raporu,* 2, 1-72, 2011.

Ataş Ö. C., Hydrogeochemical and Isotopic Signatures of Geothermal Waters from Tröllaskagi Area, N- Iceland, *IAHR International Groundwater Symposium*, İstanbul, Turkey, 18-20 June 2008.

Pasvanoğlu S., **Ataş Ö. C.,** Orhangazi Dolayındaki Önemli Karstik Kaynakların İncelenmesi ve 1999 Gölcük Depremi'nin Bunlara Etkisi, *Deprem Sempozyumu,* Kocaeli, Türkiye, 23-25 Mart 2005.

ÖZGEÇMİŞ

Özge Can GÜNDÜZ 1981 yılında Yalova'da doğdu. 1987 yılında ilköğrenimine Marmaris'te başladı. Orta öğrenimini 1995 yılında Bodrum Merkez Ortaokulu'nda, Lise öğrenimini ise 1999 yılında Bodrum Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi'nde tamamladı. 2000 yılında KOÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nü kazandı ve 2004 yılında derece ile mezun oldu. Aynı yıl KOÜ Jeoloji Mühendisliği Uygulamalı Jeoloji Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı ve aynı yıl araştırma görevlisi olarak atandı. 2007 yılında KOÜ Jeoloji Mühendisliği Yüksek Lisans programından mezun oldu. 2007 yılında aynı bölümde doktora eğitimine başladı. 2005 yılında Türkiye'de düzenlenen Dünya Jeotermal Kongresi (WGC-2005) kapsamında TÜBİTAK Lisansüstü öğrencilerini destekleme bursu ile kongre öncesi düzenlenen "Power Generation from Geothermal Energy" kursuna katıldı. 2006 yılında Merkezi Japonya'da (Tokyo) bulunan Birleşmiş Milletler Üniversitesi'nin bursunu kazanarak, İzlanda-Reykjavik'te 6 ay süren Jeotermal Enerji eğitimini başarıyla tamamladı ve Chemistry of Thermal Fluids (Termal Akışkanlar Kimyası) alanında çalışmalar yaparak sertifika aldı. Amerika Dışişleri Bakanlığı'nın desteklediği burs ile Kentucky ve Georgia Üniversitesi'nin 2013-2014 yılları arasında gerçekleştirdiği BOOST-H20 (Building Opportunity Out of Science and Technology-Helping Hydrologic Outreach in Turkey and Indonesia) uluslararası projesi kapsamında hidrojeoloji ve hidrolojik modelleme eğitimini başarıyla tamamladı. Bu eğitimin devamında aynı burs kapsamında 2013 Aralık ayında Amerika'da düzenlenen AGU'ya (American Geophysical Union Fall Meeting) katıldı. Halen KOÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. Özge Can GÜNDÜZ evlidir.