İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BURSA OVASI'NIN HİDROJEOLOJİ VE JEOTERMAL İNCELEMESİ

Jeo.Müh. Merve ÖGER

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman
Prof.Dr. Halil Murat ÖZLER

MAYIS, 2012

İSTANBUL

Bu çalışma 11/06/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Uygulamalı Jeoloji programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Halil Murat ÖZLER (Danışman)
İstanbul Üniversitesi

Prof. Dr. Simav BARGU
İstanbul Üniversitesi

Prof. Dr. Ali Osman ÖNCEL
İstanbul Üniversitesi

Yard. Doç. Dr. Şamil ŞEN
İstanbul Üniversitesi

Doç. Dr. Murat BAYRAK
İstanbul Üniversitesi

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 17104 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bililim Dalı, Uygulamalı Jeoloji Programında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada Bursa Ovası'nın hidrojeoloji ve jeotermal incelemesi yapılmıştır.

Tez çalışması için beni yönlendiren, destekleyen, bilgilerini benimle paylaşan, yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Prof. Dr. Halil Murat ÖZLER'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarının yoğunluğuna rağmen, verilerin temininde yardımcı olan Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü Yeraltısuları ve Jeoteknik Hizmetler Şube Müdürü Sayın Bülent SÖYLEM, başmühendis Sayın Dilek YILMAZER ve teknik personelden Tansel ÖZMEN'e teşekkür ederim.

Bugüne kadar olduğu gibi tez çalışmam sırasında da beni yalnız bırakmayan ve her türlü maddi ve manevi desteğini sürekli sunan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs, 2012 **Merve ÖGER**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **i**

İÇİNDEKİLER ..... **ii**

ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**

TABLO LİSTESİ ..... **x**

SEMBOLLER VE KISALTMALAR ..... **xi**

ÖZET ..... **xiii**

SUMMARY ..... **xiv**

1. GİRİŞ **1**

2. GENEL KISIMLAR **2**

2.1. İNCELEME ALANININ AMACI VE KAPSAMI **2**

2.2. İNCELEME ALANININ KONUMU **2**

2.3. COĞRAFYA **4**

2.3.1. Morfoloji **4**

2.3.2. İklim ve Bitki Örtüsü **7**

2.3.3. Ulaşım **7**

2.3.4. Ekonomik Durum **7**

2.4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR **8**

3. MALZEME VE YÖNTEM **13**

3.1. ARAZİ ÇALIŞMALARI **13**

3.2. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI **14**

3.3. BÜRO ÇALIŞMALARI **15**

4. BULGULAR **16**

4.1. BÖLGESEL JEOLOJİ **16**

4.2. STRATİGRAFİ **19**

4.2.1. Uludağ Metamorfitleri (Pum) **21**

4.2.2. Uludağ Mermeri (Pumr)....22

4.2.3. Metaultramafitler (Pzmu)....23

4.2.4. Yörüktepe Formasyonu (Py)....23

4.2.5. Karakaya Grubu (TRk)....25

4.2.5.1. Nilüfer Formasyonu (TRkn)....27

4.2.5.2. Çataltepe Mermeri (TRkç)....29

4.2.5.3. Avdancık Formasyonu (TRkav)....30

4.2.5.4. Abadiye Formasyonu (TRkab)....32

4.2.6. Iğdır Formasyonu (TRı)....33

4.2.7. Bayırköy Formasyonu (Jba)....34

4.2.8. Bilecik Kireçtaşı (Jb)....35

4.2.9. Yarhisar Formasyonu (Ky)....36

4.2.10. Koyunhisar Formasyonu (Kk)....37

4.2.11. Göktepe Formasyonu (Kg)....38

4.2.12. Paşayayla Formasyonu (Kp)....40

4.2.13. Eğerce Formasyonu (Ke)....41

4.2.14. Güneytepe Formasyonu (Tpg)....42

4.2.15. Çanakpınar Bazaltı (Teç)....43

4.2.16. Sarıkaya Formasyonu (Tes)....45

4.2.17. Dürdane Formasyonu (Ted)....45

4.2.18. Kayacıkçayırı Formasyonu (Tek)....46

4.2.19. Granitoyidler (Tgr)....47

4.2.20. Köprühisar Formasyonu (Tmk)....50

4.2.21. Mudanya Formasyonu (Tmm)....50

4.2.22. Karacaoba Formasyonu (Tmka)....53

4.2.23. Traverten (Qtr)....54

4.2.24. Yamaç Molozu (Qym)....55

4.2.25. Akarsu Yelpazesi Çökelleri (Qay) 55

4.2.26. Alüvyon (Qal) 56

4.3. YAPISAL JEOLOJİ VE TEKTONİK 57

4.3.1. Faylar 57

4.3.1.1. Bursa Fayı 57

4.3.1.2. Uludağ Fayı 58

4.3.1.3. Barakfakı Fayı 58

4.3.1.4. Çalışma alanındaki diğer faylar 58

4.3.2. Bindirme 59

4.3.3. Uyumsuzluklar 60

4.3.4. Kıvrımlar 60

4.3.5. Depremsellik 60

4.4. TARİHSEL JEOLOJİ 66

4.5. HİDROLOJİ 68

4.5.1. HİDROMETEOROLOJİ 68

4.5.1.1. Yağış 68

4.5.1.2. Sıcaklık ve Buharlaşma 70

4.5.2. SU NOKTALARI 76

4.5.2.1. Akarsular 76

4.5.2.2. Kaynaklar 86

4.5.2.3. Kuyular 87

4.5.3. Yeraltısuyu Beslenimi ve Boşalımı 95

4.5.3.1. Yeraltısuyu Beslenimi 95

4.5.3.2. Yeraltısuyu Boşalımı 96

4.5.4. Yeraltısuyu Bilançosu 97

4.5.5. Yıllık Emniyetli Verim 97

4.6. HİDROJEOLOJİ 98

4.6.1. Yeraltısuyu 98

4.6.2. Litolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri 104

4.6.2.1. Birincil Gözenekli Geçirimli Birimler (Gç1) 104

4.6.2.2. Birincil Gözenekli Geçirimli Birimler (Gç2) 104

4.6.2.3. İkincil Gözenekli Geçirimli Birimler (Gçy1) 104

4.6.2.4. İkincil Gözenekli Geçirimli Birimler (Gçy2) 104

4.6.2.5. Az Geçirimli Birimler (Gçz1) 104

4.6.2.6. Geçirimsiz Birimler (Gçz2) 105

4.6.3. Yeraltısuyu İşletmesine Uygun Alanlar 105

4.7. SU KİMYASI 106

4.7.1. Soğuk Suların Kimyasal Özellikleri 106

4.7.1.1. Hidrojen İyon Konsantrasyonu (pH) 112

4.7.1.2. Özgül Elektriksel İletkenlik (EC) 113

4.7.1.3. Toplam Çözünmüş Katı (TDS) 114

4.7.1.4. Sertlik 114

4.7.1.5. Sodyum (Na^{+}) İyonu 117

4.7.1.6. Potasyum (K^{+}) İyonu 118

4.7.1.7. Kalsiyum (Ca^{+2}) İyonu 119

4.7.1.8. Magnezyum (Mg^{+2}) İyonu 120

4.7.1.9. Karbonat (CO_3^{-2}) ve Bikarbonat (HCO_3^{-}) İyonları 120

4.7.1.10. Sülfat (SO_4^{-2}) İyonu 121

4.7.1.11. Klorür (Cl^{-}) İyonu 122

4.7.1.12. Nitrit (NO_2) 123

4.7.1.13. Nitrat (NO_3) 124

4.7.1.14. Amonyum (NH_4^{+}) 125

4.7.2. SOĞUK SULARIN SULAMADA KULLANIM ÖZELLİKLERİ .. 125

4.7.2.1. Sodyum Absorbsiyon Oranı (SAR) 125

4.7.2.2. Sodyum Yüzdesi (%Na) *126*

4.7.2.3. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı *129*

4.7.2.4. Wilcox Diyagramı *131*

4.8. JEOTERMAL **134**

4.8.1. Jeotermal Suların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri **135**

4.8.2. Sıcak Suların Mineral Doygunlukları **141**

4.8.3. Jeotermometre **143**

4.8.4. Jeotermal Suların Hidrojeolojik Dolaşım Modeli **148**

4.8.5. Jeotermal Sahada CO_2 Gazı Ölçümü **149**

4.8.6. Sıcak Ve Soğuk Suların Fasiyes Tipleri Ve Sınıflaması **152**

4.8.6.1. Cl-SO_4-HCO_3 Diyagramı *152*

4.8.6.2. Piper Diyagramı *152*

4.8.6.3. Schoeller Diyagramı *156*

4.8.6.4. Durov Diyagramı *160*

5. SONUÇLAR **163**

6. KAYNAKLAR **169**

7. ÖZGEÇMİŞ **177**

EKLER

EK-1 : JEOLOJİ HARİTASI

EK-2 : JEOLOJİ ENİNE KESİTLERİ

EK-3 : HİDROJEOLOJİ HARİTASI

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : İnceleme alanının yer bulduru haritası 3
Şekil 2.2 : İnceleme alanındaki topoğrafik yükseltiler 5
Şekil 2.3 : İnceleme alanındaki drenaj ağı haritası 6
Şekil 3.1 : Jeotermal gaz ölçümü için MultiRAE IR CO_2 gaz deteksiyonu 14
Şekil 3.2 : Laboratuvarda su numunelerinin analizi 14
Şekil 4.1 : Anadolu levhası ve çevresinin ana kenet kuşakları ve kıtasal blokları gösterir harita (Okay ve Tüysüz, 1999) 16
Şekil 4.2 : İnceleme alanın genelleştirilmiş stratigrafi sütun kesiti 20
Şekil 4.3 : Iğdır köyünde gözlenen Yörüktepe formasyonu(Çekim yönü KB) 24
Şekil 4.4 : Iğdır köy yolunda gözlenen Yörüktepe formasyonu (Çekim yönü KB) 25
Şekil 4.5 : Fidyekızık civarında gözlenen Karakaya grubu (Çekim yönü G).... 27
Şekil 4.6 : Süleymaniye köy yolu üzerinde gözlenen Nilüfer formasyonu (Çekim yönü D) 28
Şekil 4.7 : Derekızık köyünde gözlenen Nilüfer formasyon (Çekim yönü K) .. 28
Şekil 4.8 : Dedebayır tepede gözlenen Çataltepe mermeri (Çekim yönü KB).. 29
Şekil 4.9 : Ağlaşan köy yolu üzerinde gözlenen Avdancık formasyonu (Çekim yönü KB) 31
Şekil 4.10 : Turan köyünde gözlenen Avdancık formasyonu(Çekim yönü KB). 31
Şekil 4.11 : Kestel ilçesi güneyinde gözlenen Abadiye formasyonu (Çekim yönü G) 33
Şekil 4.12 : Dışkaya köyü çevresinde gözlenen Bilecik kireçtaşı (Çekim yönü D) 36
Şekil 4.13 : Dışkaya köyü çevresinde gözlenen Koyunhisar formasyonu (Çekim yönü B) 38
Şekil 4.14 : Ağlaşan köy yolu üzerinde gözlenen Göktepe formasyonu (Çekim yönü KB) 39
Şekil 4.15 :Ağlaşan köy yolu üzerinde gözlenen Göktepe formasyonu (Çekim yönü KB) 40
Şekil 4.16 : Kayacık köyünde gözlenen Paşayayla formasyonu (Çekim yönü KB) 41
Şekil 4.17 : Gündoğdu köyünde gözlenen Eğerce formasyonu (Çekim yönü K) 42
Şekil 4.18 : Gündoğdu köyü Çiftekaya tepe çevresinde gözlenen Güneytepe formasyonu (Çekim yönü KD) 43
Şekil 4.19 :Karabalçık köyünde gözlenen Çanakpınar bazaltı (Çekim yönü KB) 44
Şekil 4.20 : Dürdane köyü çevresinde gözlenen Dürdane formasyonu (Çekim yönü K) 46
Şekil 4.21 : Uludağ Milli Parkı'nda gözlenen granitoyid (Çekim yönü KD)..... 49
Şekil 4.22 : Bakacak Tepe'de gözlenen granitoyid (Çekim yönü B) 49
Şekil 4.23 : Gündoğdu köy yolu üzerinde gözlenen Mudanya formasyonu (Çekim yönü KB) 52
Şekil 4.24 : Uludağ yolu üzerinde gözlenen Karacaoba formasyonu (Çekim yönü KD) 53

Şekil 4.25 : Uludağ yolu üzerinde gözlenen Karacaoba formasyonu (Çekim yönü KD) 54
Şekil 4.26 : Altıparmak Caddesi üzerinde gözlenen traverten (Çekim yönü GD) 55
Şekil 4.27 : Fidyekızık köyü çevresinde gözlenen yamaç molozu (Çekim yönü KD) 56
Şekil 4.28 : Bursa ilinin depremsellik haritası (deprem.gov.tr)..... 61
Şekil 4.29 : Bursa ve çevresindeki aktif faylar (Selim ve diğ., 2006) 61
Şekil 4.30 : Bursa ve çevresindeki aktif faylar (MTA, 2011) 62
Şekil 4.31 : Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde 15 bölgeye ayrılan sismik alan (Öncel ve Wilson, 2006)..... 63
Şekil 4.32 : Alanın tektonik gerilme, deformasyon ve deprem derinlikleri (Öncel ve Wilson, 2006) 63
Şekil 4.33 : Depremlerin tekrarlanma sıklığı (Öncel ve Wilson, 2006) 63
Şekil 4.34 : Güney Marmara Bölgesi'nde 32 AD – 1983 AD yılları arasında gözlenen M≥6 deprem aktivitesi (Ambraseys ve Finkel, 1991)..... 64
Şekil 4.35 : Bursa ve çevresinde 01.01.1970-01.01.2012 tarihleri arasında gözlenen M≥2 deprem aktivitesi (http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/)..... 65
Şekil 4.36 : Yağışın yıllara göre değişimi 69
Şekil 4.37 : Yağışın aylara göre değişimi 69
Şekil 4.38 : Zamana bağlı ortalama sıcaklık değişimi 70
Şekil 4.39 : Buharlaşma-terlemenin aylara göre değişimi 71
Şekil 4.40 : Eklenik sapma ile ortalama yağışın yıllara göre değişimi..... 72
Şekil 4.41 : Yağış ile sapma arasındaki ilişki 72
Şekil 4.42 : Eklenik sapma ile bulunan yağışlı ve kurak dönemler..... 73
Şekil 4.43 : Rezerv suyun yağış, PE ve gerçek PE ile değişimi 75
Şekil 4.44 : Yağış ve PE aylık değişimi 75
Şekil 4.45 : Bursa Havzası'nın akarsu ve akım gözlem istasyonu haritası 77
Şekil 4.46 : Aksu Deresi 78
Şekil 4.47 : Bursa Ovası'na giriş yapan derelerin debi ölçümleri (m^3/sn)..... 84
Şekil 4.48 : Gölbaşı Barajı..... 85
Şekil 4.49 : İnceleme alanında bulunan soğuk su kaynakları..... 87
Şekil 4.50 : İnceleme alanında bulunan kuyular..... 88
Şekil 4.51 : Bursa Ovası'nda yeraltısuyu ölçümü yapılan sondaj kuyuları..... 98
Şekil 4.52 : Bursa Ovası'nda bulunan kuyulardan yeraltısuyu ölçümü..... 99
Şekil 4.53 : a) Bursa Ovası Kasım-2010 dönemine ait yeraltısuyu akış yönü haritası, b) Ovanın batısının detaylı yeraltısuyu akış yönü haritası, c) Ovanın doğusunun detaylı yeraltısuyu akış yönü haritası..... 102
Şekil 4.54 : a) Bursa Ovası Mayıs-2011 dönemine ait yeraltısuyu akış yönü haritası b) Ovanın batısının detaylı yeraltısuyu akış yönü haritası, c) Ovanın doğusunun detaylı yeraltısuyu akış yönü haritası..... 103
Şekil 4.55 : a) Ovanın batısında Mayıs-2011 ve Kasım-2010 dönemleri arasında yeraltısuyu seviye farkı b) Ovanın doğusunda Mayıs-2011 ve Kasım-2010 dönemleri arasında yeraltısuyu seviye farkı..... 103
Şekil 4.56 : Kimyasal analizi yapılan sondaj kuyuları 107
Şekil 4.57 : Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının pH haritası 112
Şekil 4.58 : Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının EC (µmho/cm) haritası 114

Şekil 4.59 : Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının sertlik (Fr0) haritası 116
Şekil 4.60 : Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının Na^{+} (mg/l) haritası 117
Şekil 4.61 : Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının K^{+} (mg/l) haritası 118
Şekil 4.62 : Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının Ca^{+2} (mg/l) haritası 119
Şekil 4.63 : Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının Mg^{+2} (mg/l) haritası 120
Şekil 4.64 : Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının HCO_3^{-} (mg/l) haritası..... 121
Şekil 4.65 : Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının SO_4^{-2} (mg/l) haritası..... 122
Şekil 4.66 : Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının Cl^{-} (mg/l) haritası..... 123
Şekil 4.67 : Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının NO_2 (mg/l) haritası 124
Şekil 4.68 : Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının NO_3 (mg/l) haritası 124
Şekil 4.69 : Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının NH_4^{+} (mg/l) haritası..... 125
Şekil 4.70 : Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının SAR sınıflama haritası..... 126
Şekil 4.71 : Bursa Ovası'na ait kuyu sularının %Na haritası 128
Şekil 4.72 : Bursa Ovası'na ait kuyu sularının ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı 130
Şekil 4.73 : Bursa Ovası'na ait kuyu sularının ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı sınıflama haritası 131
Şekil 4.74 : Bursa Ovası'na ait kuyu sularının Wilcox Diyagramı 132
Şekil 4.75 : Bursa Ovası'na ait kuyu sularının Wilcox Diyagramı sınıflama haritası 133
Şekil 4.76 : İnceleme alanında bulunan sıcak su kaynakları 134
Şekil 4.77 : Sıcak suların EC-Sıcaklık ilişkisi 138
Şekil 4.78 : Sıcak suların Sıcaklık-pH ilişkisi 138
Şekil 4.79 : İnceleme alanındaki sıcak suların çeşitli minerallere göre doygunluk değerleri 142
Şekil 4.80 : Sıcak suların Na-K-Mg üçgeni (Giggenbach, 1988)..... 147
Şekil 4.81 : Jeotermal suyun basitleştirilmiş dolaşım modeli (Imbach, 1997b'den sadeleştirilmiştir.) 149
Şekil 4.82 : a) İnceleme alanında 100 m aralıklı ölçülen CO_2 gazı (ppm) haritası. b) İnceleme alanında 25 m aralıklı ölçülen CO_2 gazı (ppm) haritası 151
Şekil 4.83 : Sıcak suların Cl-SO_4-HCO_3 sınıflaması (Giggenbach, 1988)..... 152
Şekil 4.84 : Piper Diyagramda sınıflama bölümleri 154
Şekil 4.85 : Bursa Ovası'na ait kuyu sularının Piper Diyagramı..... 155
Şekil 4.86 : Bursa Ovası'na ait kuyu sularının Piper Diyagramı..... 155
Şekil 4.87 : Bursa Ovası'ndaki jeotermal suların Piper Diyagramı..... 156
Şekil 4.88 : Bursa Ovası'na ait kuyu sularının Schoeller Diyagramı 158
Şekil 4.89 : Bursa Ovası'na ait kuyu sularının Schoeller Diyagramı 159
Şekil 4.90 : Bursa Ovası'ndaki jeotermal suların Schoeller Diyagramı..... 160
Şekil 4.91 : Bursa Ovası'na ait kuyu sularının Durov Diyagramı..... 161
Şekil 4.92 : Bursa Ovası'na ait kuyu sularının Durov Diyagramı..... 162
Şekil 4.93 : Bursa Ovası'ndaki jeotermal suların Durov Diyagramı..... 162

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1 : Bursa Ovası için Penman Potansiyel Burharlaşma-Terleme Bilançosu 74
Tablo 4.2 : Bursa Ovası'na giriş yapan derelerin debi ölçümleri (m3/sn) 79
Tablo 4.3 : Bursa Ovası'na giriş yapan derelerin debi ölçümleri (m3/sn) 80
Tablo 4.4 : Kuyuların hidrolik özellikleri 89
Tablo 4.5 : Su bilançosu 97
Tablo 4.6 : Kuyuların statik yeraltısuyu ölçümleri 100
Tablo 4.7 : İçme suyu standartları 108
Tablo 4.8 : Bursa Ovası'nın kuyu sularının kimyasal analiz sonuçları 109
Tablo 4.9 : Bursa Havzası'ndaki kaynakların kimyasal analizleri 111
Tablo 4.10 : Bursa Havzası'ndaki derelerin kimyasal analizleri 111
Tablo 4.11 : Suların pH'a göre sınıflandırılması 112
Tablo 4.12 : Suların özgül elektriksel iletkenlik (EC) değerine göre sınıflandırılması (Erguvanlı & Yüzer, 1973)..... 113
Tablo 4.13 : Suların TDS sınıflaması (Caroll, 1962)..... 114
Tablo 4.14 : Suların sertliklerine göre sınıflandırılması (Şahinci,1991) 115
Tablo 4.15 : Kuyu sularının sertlik sınıflaması..... 116
Tablo 4.16 : Suların SAR Sınıflaması (U.S. Salinity Lab. Staff, 1954) 126
Tablo 4.17 : %Na sınıflaması (Scofield, 1935) 127
Tablo 4.18 : Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının %Na sınıflaması..... 128
Tablo 4.19 : Jeotermal suların kimyasal analizi 136
Tablo 4.20 : Sıcak suların Bogomolow'a göre sınıflaması..... 136
Tablo 4.21 : Sıcak suların Na/K oranı 139
Tablo 4.22 : İnceleme alanındaki sıcak suların doygunluk indeksleri..... 142
Tablo 4.23 : Katyon jeotermometre eşitlikleri..... 145
Tablo 4.24 : Schoeller (1955) klorür, sülfat, karbonat-bikarbonat sınıflaması... 157
Tablo 4.25 : Bursa Ovası'na ait kuyu sularının Schoeller Diyagramına göre iyon sıralaması..... 159
Tablo 4.26 : Bursa Ovası'ndaki jeotermal suların Schoeller Diyagramına göre iyon sıralaması..... 160

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

DSİ : Devlet Su İşleri
MTA : Maden Tetkik Arama
% : Yüzde
mm . Milimetre
cm : Santimetre
m : Metre
km : Kilometre
km^2 : Kilometrekare
mg/l : Miligram / litre
meq/l : Miliekivelan / litre
µg /l : Mikrogram / litre
µS/cm : Mikrosiemens / santimetre
µmho/cm : Micromho/santimetre
ml : Mililitre
m^3/yıl : Metre küp / yıl
m^3/sn : Metre küp / saniye
l/sn : Litre / saniye
TS : Türk Standartları
TSE : Türk Standartları Enstisüsü
WHO : Dünya Sağlık örgütü
%Na : Sodyum Yüzdesi
SAR : Sodyum Absorpsiyon Oranı
T : Sıcaklık
°C : Santigrat derece
pH : Asitlik değeri
EC : Elektriksel kondüktivite
Ca : Kalsiyum
Mg : Magnezyum
Na : Sodyum
Cl : Klor
K : Potasyum
F : Flor
OH : Hidroksil
SO4 : Sülfat
SiO2 : Silikat
CO2 : Karbondioksit
CO3 : Karbonat
HCO3 : Bikarbonat
NO2 : Nitrit
NO3 : Nitrat

NH4 : Amonyum
N2 : Nitrojen
NH3 : Amonyak
Fr0 : Fransız sertliği
TDS : Toplam Çöz. Katı
UTM : Evrensel Enlem Merkatörü
PE : Potansiyel Buharlaşma
ppm : Milyonda bir
√ : Karekök
Δ : Delta

ÖZET

BURSA OVASI'NIN HİDROJEOLOJİ VE JEOTERMAL İNCELEMESİ

Bursa ili yeraltısuyu ve jeotermal kaynaklar açısından, eski çağlardan beri, zengin metropol illerimizden biridir. Bu zenginliklere sahip olan Bursa ili çalışma için seçilmiş ve inceleme kapsamında Bursa Ovası'nın yeraltısuyu, jeotermal kaynakları ve jeotermal potansiyel oluşturabilecek alanlar araştırılmıştır.

Bu amaç kapsamında Bursa Ovası'nın beslenme alanını oluşturan Havza'nın jeolojisi, tektonizması, yeraltısuyu potansiyeli, yeraltısuyu ve jeotermal kaynakların hidrojeokimyası ve jeotermal potansiyel oluşturabilecek yeni alanlar incelenmiştir.

Bursa Ovası'nı besleyen havzada bulunan jeolojik birimler 1/100 000 ölçekli haritada gösterilmiştir. Jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre değerlendirilerek birincil gözenekli geçirimli, ikincil gözenekli geçirimli, az geçirimli ve geçirimsiz olarak ayırtlanmış ve hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır.

İnceleme alanında yeraltısuyu statik seviyesi ölçülmüş ve yeraltısuyu akım yönünün batıya doğru olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, kurak dönemde yeraltısuyu seviyesinde düşmeler belirlenmiştir.

İnceleme alanında bulunan kuyulardan alınan su numuneleriyle yeraltısuyunun kimyasal özellikleri incelenmiştir. Yeraltısularının kimyasal analiz sonuçlarına göre diyagramları ve kontur haritaları hazırlanmıştır. Yeraltısuları Ca-HCO_3 ve Na-HCO_3 fasiyesinde; ABD Tuzluluk laboratuarı sınıflamasına göre C_2S_1 (Az sodyumlu orta tuzlulukta sular) ve C_3S_1 (Az sodyumlu yüksek tuzlulukta sular) sular sınıfında; Wilcox diyagramına göre 'çok iyi-iyi kullanılabilir' sular sınıfındadır.

Çalışma sahasında jeotermal araştırmaları için sıcak suların fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Jeotermal potansiyel oluşturabilecek alanlar için toprakta CO_2 gazı ölçümü yapılmış ve bazı alanlarda yüksek CO_2 gazına rastlanmıştır. Sıcak sular Ca-HCO_3 ve Na-HCO_3 fasiyesinde ve genellikle kalsit ve dolomite doygundur. Sıcak sulara soğuk yeraltısularının karıştığı, bu sebeple de sıcaklıklarında ve kimyasal özelliklerinde değişimlerin olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Hidrojeoloji, jeotermal, su kimyası, Bursa Ovası, akifer

SUMMARY

HYDROGEOLOGY AND GEOTHERMAL INVESTIGATIONS OF BURSA PLAIN

Bursa city has significant potential groundwater and geothermal springs since ancient times, is one of the richest metropol cities. Bursa city was selected due to this rich features for this study and was researched the potential changes of groundwater resources, geothermal springs and new areas of geothermal potential of Bursa plain.

In this study, the dranaige basin of Bursa plain's geology, tectonic, groundwater's potential, hydrogeochemistry of groundwater and geothermal springs and new areas of geothermal potential were researched.

The geologic units at dranaige basin of Bursa plain were presented in a 1/100 000 scaled geologic map. The geological units have been estimated according to the hydrogeologic properties. The units are called as primary porosity permeable, secondary porosity permeable, little permeable and impermeable and hydrogeological map of the area has been prepared.

The static level of groundwater in Bursa plain measured and the groundwater flow direction is towards the west. In addition, the diminish of groundwater level was determined in period of arid.

In this area, the wells were taken water sample the chemical properties of groundwater analysis properties. According to groundwater's chemical analysis were prepared diagrams and contour maps. The two kinds of groundwater were determined as Ca-HCO_3 ve Na-HCO_3 facies; USA salinity laboratuar classification depends on C_2S_1 ve C_3S_1 and very good-good usable water according to result of Wilcox diagram.

In the study area, the physical and chemical properties of geothermal waters were investigated for geothermal research. Soil CO_2 gas was measured for suggest higher geothermal potential area. Hot waters are Ca-HCO_3 and Na-HCO_3 facies and generally calsite and dolomite minerals are saturated. Physical and chemical properties of hot waters changed for they are mixing with groundwater.

Key words: Hydrogeology, geothermal, water chemistry, Bursa plain, aquifer

1. GİRİŞ

Su, canlıların yaşamlarını devam ettirebilmek için bağımlı olduğu kaynaktır. İnsanoğlu hızla gelişen nüfus karşısında tatlı su kaynaklarını kullanmakta buna bağlı olarak mevcut kaynaklarda azalma ve kirlenme gözlenmektedir. Bunun dışında insanlar enerji üretimi, sağlık, bazı endüstriyel faaliyetleri için jeotermal kaynakları kullanmaktadır.

İnsanlar yaşamlarını sürdürmelerinde doğal su kaynaklarına ihtiyaç duymaktadır. Su kaynakları gerek doğal gerekse de yapay nedenlerle kirlenmektedir. Doğal su kaynaklarının geliştirilmesi ve yaygın kullanımı ekonomik ve sosyal katkılar sağlamaktadır. Bu amaçla var olan kaynakların en iyi şekilde kullanılması, geliştirilmesi ve yeni alanların keşfedilmesi önem arz etmektedir. Jeotermal kaynakların araştırılmasında toprak gazı ölçümleri yeni yöntemler arasındadır ve toprakta CO_2 gazı difüzyonla atmosfere çıkmakta ve iklim koşullarından etkilenmektedir. CO_2 gazının toprakta salınımı faylarla ilişkili olabilmektedir.

Bursa Ovası, Uludağ'ın eteklerinde sıcak su kaynakları ve zengin yeraltısuyu rezervine sahip bir bölgedir. Sahip olunan bu zenginliklerinin geliştirilmesi ve en verimli biçimde kullanılması alanın detaylı bir şekilde çalışılmasına bağlıdır. Ayrıca, alanda mevcut bulunan sıcak su kaynakları ve aktif tektonizma jeotermal potansiyel oluşturabilecek yeni alanların var olabileceğini düşündürmektedir.

Çalışma alanının yeraltısuyu ve sıcak su kaynaklarının beslenimini, potansiyelini, kökenini ve kalitesini, sıcak ve soğuk suların ilişkisini ve jeotermal potansiyel oluşturabilecek alanları belirlemek amacıyla yapılmış olan bu çalışma arazi, laboratuvar ve büro çalışmalarıyla desteklenmiştir. İnceleme alanının jeolojisi, hidrolojisi, hidrojeolojisi, hidrojeokimyasal ve jeotermal özellikleri çalışılmıştır. Çalışma sonucunda ulaşılan bilgilerle yeraltısularının kalitesi, kökeni, akım yönü, kimyası ile sıcak suların kökeni, kimyası ve jeotermal potansiyel oluşturabilecek yeni alanlar ortaya konmuştur.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. İNCELEME ALANININ AMACI VE KAPSAMI

Bursa ili Marmara Bölgesi'nde kurulmuş, endüstri ve sanayinin gelişmiş olduğu metropol kentlerden biridir. Bursa Ovası zengin yeraltısuyu akiferine ve günümüzde sadece turizm amaçlı kullanılan jeotermal potansiyele sahiptir. Bununla birlikte Bursa ilinde sanayi ve endüstrinin gelişmiş olması yeraltısularının kirlenmesine yol açmaktadır.

Bursa Ovası'nın Hidrojeoloji ve Jeotermal İncelemesi ile akiferin beslenme ve boşalım ilişkileri, yeraltısuyunun seviyesi ve kalitesi ile alanın jeotermal potansiyelinin revize edilmesi amaçlanmıştır.

2.2. İNCELEME ALANININ KONUMU

Çalışma sahası Marmara bölgesinin güneyinde, Bursa ili sınırları içinde Greenwich başlangıcına göre 28^0 58' - 29^0 22' doğu boylamları ve 40^0 03' - 40^0 21' kuzey enlemleri arasında yer alan 793,317 km^2'lik alana sahip Bursa Havzası'nı kapsamaktadır (Şekil 2.1). İnceleme alanı 1/ 25 000 ölçekli topografik haritalardan H21-b3, H21-c2, H22-a3, H22-a4, H22-b4, H22-c1, H22-c4, H22-d1, H22-d2, H22-d3 ve H22-d4 paftalarının içerisinde yer almaktadır. Bursa Ovası, Uludağ'ın kuzey yamacında doğu-batı uzanımlı 208 km^2'lik alana sahip bir ovadır. Çalışma alanı içerisindeki yerleşim alanları Bursa iline bağlı Osmangazi, Yıldırım, Kestel ve Gürsu ilçeleri ve bu ilçelere bağlı köy ve mahallelerdir.

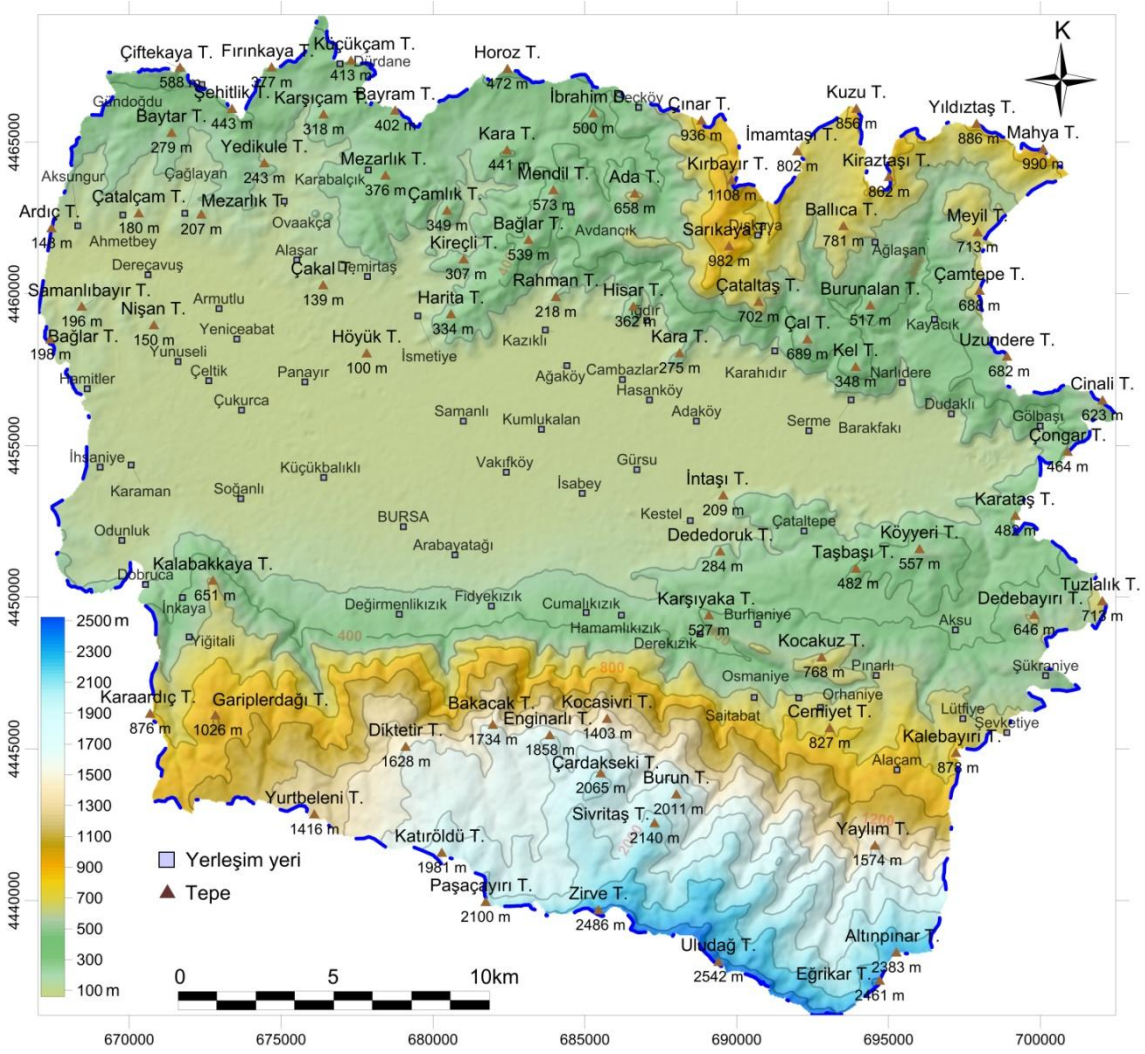


Şekil 2.1 İnceleme alanının yer bulduru haritası

2.3. COĞRAFYA

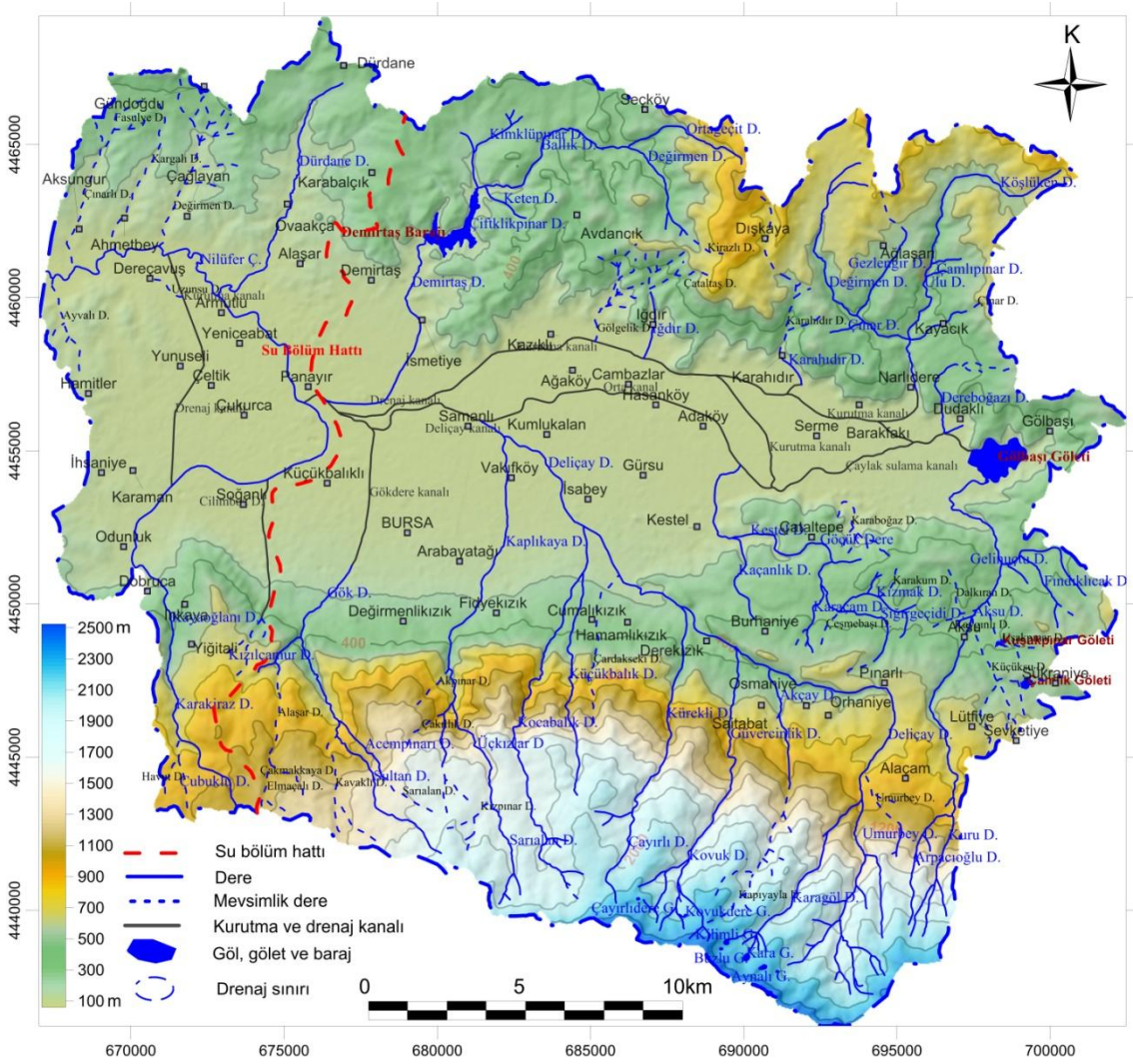
2.3.1. Morfoloji

Bursa Ovası'nın kuzeydoğusu ve güneyi dik yamaçlara sahiptir (Şekil 2.2) ve özellikle güneyinde yer alan Uludağ Tepesi (2542 m) bölgenin en yüksek tepesini oluşturur. Çalışma alanının güneyindeki tepeler; Zirve T. (2486 m), Eğrikar T. (2461 m), Sivritaş T. (2140 m), Çardakseki T. (2064, 9 m), Paşaçayırı T. (2099,9 m), Burun T. (2011 m), Katıröldü T. (1981 m), Enginarlı T. (1858 m), Bakacak T. (1734 m), Diktetir T. (1628 m), Yaylım T. (1574 m), Yurtbeleni T. (1416 m), Kocasivri T. (1403 m), Gariplerdağı T. (1026 m), Kalebayırı T. (878 m), Karaardıç T. (876 m), Cemiyet T. (827 m), Kocakuz T. (768 m), Kalabakkaya T. (651 m), Dedebayırı T. (646 m), Köyyeri T. (557 m), Karşıyaka T. (527 m), Taşbaşı T. (482 m), Dededoruk T. (284 m), İntaşı T. (209 m); kuzeyindeki tepeler ise Kırbayır T. (1108 m), Mahya T. (990 m), Sarıkaya T. (982 m), Yıldıztaş T. (886 m), Kiraztaşı T. (862 m), Kuzu T. (856 m), İmamtaşı T. (802 m), Ballıca T. (781 m), Meyil T. (713 m), Çataltaş T. (702 m), Çal T. (689 m), Çamtepe T. (688 m), Uzundere T. (682 m), Ada T. (658 m), Çiftekaya T. (588 m), Mendil T. (573 m), Bağlar T. (539 m), Burunalan T. (517 m), İbrahim D. (500 m), Horoz T. (472 m), Şehitlik T. (443 m), Kara T. (441 m), Bayram T. (402 m), Fırınkaya T. (377 m), Mezarlık T. (376 m), Hisar T. (362 m), Çamlık T. (349 m), Kel T. (348 m), Harita T. (334 m), Karşıçam T. (318 m), Kireçli T. (307 m), Baytar T. (279 m), Kara T. (275 m), Yedikule T. (243 m), Rahman T. (218 m), Çatalçam T. (179,9 m), Çakal T. (139 m), Ardıç T. (148 m), Höyük T. (100 m); ovanın batısında ise Nişan T. (150 m), Bağlar T. (198 m), Samanlıbayır T. (196 m), Mezarlık T. (207 m)'leri bulunmaktadır.



Şekil 2.2 İnceleme alanındaki topoğrafik yükseltiler

Çalışma alanında mevsimlik ve sürekli akan pek çok dere bulunmaktadır. Alanın en önemli akarsuları Nilüfer çayı, Deliçay deresi ve Aksu dereleridir. Nilüfer çayı havza dışından doğmakta ve havza alanını menderesler yaparak terk etmektedir. Nilüfer çayının bu özelliği ile Bursa Havzası kapalı bir havza olmaktan kurtulmaktadır. Ova alanında dereler drenaj, sulama ve kurutma kanallarına veya başka bir dereye katılmaktadır. Uludağ'ın doruklarında buzul göllerine rastlanmaktadır; bunlar, Çayırlıdere Gölü, Kovukdere Gölü, Kilimli Gölü, Buzlu Gölü, Kara Göl ve Aynalı Göl'dür (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 İnceleme alanındaki drenaj ağı haritası

2.3.2. İklim ve Bitki Örtüsü

Çalışma alanında yazların sıcak ve kurak, kışların ılık ve bol yağışlı olduğu Marmara iklimi hakimdir. Bursa ilinde 1970-2010 yılları arasında Bursa ve Uludağ meteoroloji istasyonlarının düzenli verileri bulunmaktadır. Bu veriler ışığında Bursa meteoroloji istasyonuna göre yıllık yağış 761,69 mm, yıllık ortalama sıcaklık 14,6 ^{o}C'dir. Uludağ meteoroloji istasyonuna göre yıllık yağış 1673,94 mm, yıllık ortalama sıcaklık 4,9^{o}C'dir.

Bursa doğal bitki örtüsü açısından zengin bir ildir. Ovada meyve ve sebze bahçeleri, yukarı kesimlere çıkıldıkça maki cinsi alçak ağaçlar, fundalıklar ile daha yüksek kesimlerde kayın, meşe, göknar ve karaçam ormanları, Uludağ'da 1500 m'den daha yukarıda ise Uludağ göknarı ormanları bulunmaktadır.

2.3.3. Ulaşım

Çalışma alanının Bursa il merkezi ve çevresinde bulunması sebebiyle il merkezine ulaşım çalışma alanına da ulaşımı sağlayabilmektedir. Bursa ili gerek çevre illeri gerekse ilçe, belde ve köyleri birbirine bağlayan ulaşım ağı açısından iyi gelişmiştir. İstanbul'dan Bursa-Yalova karayolu veya İstanbul'dan Mudanya'ya feribotla oradan da karayolu ile ulaşım sağlanmaktadır. Bilecik, Eskişehir ve Balıkesir'den karayolları ile Bursa'ya ulaşılabilmektedir. Ayrıca Bursa ilinde çevre illeri birbirine bağlamak amacıyla bir de çevreyolu bulunmaktadır.

2.3.4. Ekonomik Durum

Çalışma alanı içerisinde yer alan ovanın sulak olması tarımın önemli geçim kaynakları arasında yer almasını sağlamaktadır. Alanın daha yüksek kesimlerinde ise küçükbaş ve büyükbaş hayvan yetiştiriciliği yapılmaktadır. Ayrıca ipekböceği yetiştiriciliği de alanda yaygın bulunan dokuma fabrikalarının hammaddesini oluşturmaktadır. Otomotiv ve mobilya endüstrisi çalışma alanında ileride olan endüstri dallarındandır.

2.4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ketin (1947), Uludağ masifinin jeolojik etüdü hakkındaki çalışmasında, yüksek ve düşük derecelerde metamorfizma geçirmiş çekirdek durumundaki A serisi ile kılıf durumundaki B serisi'ne ayırmıştır; bu serilerin masifin merkezinde granodiyorit bileşimli bir batolit tarafından kesildiğini açıklamıştır. Uludağ masifi metamorfik olmayan Permiyen yaşlı örtü formasyonları ile arasında bir diskordansın varlığını belirtmiştir. Masif kenarlarının çok yakın zamanda volkanik ve tektonik açıdan aktif olduğunu Bursa'daki sıcak su kaynakları ve traverten oluşuklarının kanıtladığını belirtmiştir.

Tolun (1948), Bursa Ovası'nın hidrojeolojisinin incelendiği raporda ovanın yeraltısu rezervuarının, Uludağ masifinin topladığı yağmur ve kar suları ile Nilüfer Çayı ve kollarının sularının süzülmesi ile oluştuğu vurgulanmıştır. Ovanın merkezi ile doğu kısmının artezyen sahalar olduğu, batı kısmında ise yeraltısuyunun daha derinlerde bulunduğu açıklanmıştır.

Kaaden (1958), Uludağ volfram madeni üzerine yapılan çalışmada maden yatağının oluşumuna granodiyorit-granit batolitin kristalin kütleler ve mermerlerin içine sokulmuş olmasıyla ilişkili olduğu bahsedilmiştir. Maden yatağının biçimi, oluşum yeri ve mineralizasyonu granitin içine doğru kıvrılmış mermer bir senklinalin tektonik yapısı ile ilişkili olduğu açıklanmıştır.

Kaaden (1959), Kuzeybatı Anadolu'da Kazdağ ve Uludağ civarında metamorfik olaylarla magmatik faaliyetler arasındaki yaş ilişkisini araştıran yazar Varisiyen ve Alpin orojenezinin bölgeyi etkilediğini söylemiştir.

Granit ve Tintant (1960), Bilecik ve çevresinde yaptıkları çalışmada Jura yaşlı kireçtaşlarını ve fosil içeriklerini ilk kez araştırmışlardır. Kireçtaşlarının özellikle ammonitlerin dağılımını inceleyen araştırıcılar Geç Pliensbakiyen-Bajosiyen zaman aralığında çökelmezliğin varlığını tespit etmişlerdir. Çalışma alanlarında yüzlekler veren Pliensbakiyen yaşlı Bayırköy kumtaşı ve onu uyumsuzlukla örten genellikle

kırıntılı ve oolitik, sparitik kireçtaşı ile başlayan taban üzerine pembe-beyaz renkli mikritik kireçtaşı içeren istife ilk kez Bilecik kireçtaşı adını vermişlerdir.

Atalay ve Altuğ (1973), ‘‘Bursa ve Çayırköy Ovaları Hidrojeolojik Etüdü’’ adlı raporunda etüt sahasında bulunan kuyu ve kaynakların yeraltısu seviye ve akım rasatlarına dayanarak, su tablası, basınç yüzey eğrileri çizilmiş ve yeraltısuyunun akış yönü, beslenme ve boşalma sahaları tespit edilerek yıllık yeraltısuyu bilançosunu oluşturmuşlardır. Bursa Ovası’nın yeraltısuyu işletmesine çok uygun olduğu, özellikle ovanın orta kısmında verimli ve yüksek basınçlı bir artezyen akiferin varlığından bahsedilmiştir. Buna karşı, ovanın kuzeyi yeraltısuyu işletmesine müsait olmadığı ileri sürülmüştür.

Bingöl ve diğ. (1973), ‘‘Biga Yarımadası’nın Jeolojisi ve Karakaya Formasyonu’nun Bazı Özellikleri’’ adlı çalışmalarında ilk kez Kuzeybatı Anadolu’da az metamorfik spilit ve grovaktan oluşmuş çoğun Permo-Karbonifer yaşlı kireçtaşı blokları içeren birime ‘Karakaya Formasyonu’ adını vermişlerdir. Formasyonun yaşını ise Permiyen blokları içermesi ve Orta Triyas’la örtülmesi sonucu Alt Triyas yaşlı olarak belirtmişlerdir. Karakaya formasyonunun içindeki Permo-Karbonifer blokları Alt Triyas başlangıcından hemen sonra gerilme rejimi ile oluşan çöküntü havzalarına yerçekimi kaymaları ile taşındığı görüşüne varmışlardır.

Öztunalı (1973), Uludağ ve Eğrigöz masiflerinin petrografik, petrolojik ve jeokronolojik incelemeleri ışığında kimyasal ve mineralojik yapıları ile mutlak yaş tayinleri yapılmıştır. Uludağ Masifi’nin Rb/Sr ve K/Ar izotopik analizleri sonucu sırasıyla 245±37 ve 269±39 my yaşında olduğu tespit edilmiştir.

Bingöl (1976), ‘‘Batı Anadolu’nun Jeoteknik Evrimi’’ adlı çalışmasında Batı Anadolu’daki masiflerin az derin deniz altında Permo-Karbonifer’de oluştuğunu ve masiflerin birbirinden uzaklaşmasının Üst Permiyen-Alt Triyas’ta başladığını belirtmiştir. Masiflerin birbirinden uzaklaşmasına neden olan okyanuslaşmaya bağlı kuvvetler etkisiyle Karakaya formasyonu oluşmuştur.

Erişen ve Öngür (1976), ‘‘Bursa Kenti Sıcak Su Kaynakları Hidrojeoloji Etüdü’’ adlı çalışmada kentteki sıcak su kaynaklarını Çekirge ve Kaynarca grubu sıcak su kaynakları olarak ikiye ayırmışlardır. Bu sıcak suların aynı orijinli olduklarını, ancak temasta oldukları litolojilerin ve bulundukları kot farklılığı nedeniyle farklı fiziksel ve kimyasal özellikler sunduklarını belirtmişlerdir. Sıcak suların koruma alanları, tesisleri, şifa özellikleri ve yararlanma olanaklarından bahsetmişlerdir. Ayrıca, bölgenin jeolojik ve tektonik incelemesi ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Genç (1986), ‘‘Uludağ ve İznik Gölü Arasının Jeolojisi’’ adlı raporunda Alt Triyas-Üst Kretase arasında sürekli bir istifin varlığını tespit etmiştir. Alt-Orta Triyas yaşlı Karakaya grubu üzerine uyumlu olarak gelen Üst Triyas yaşlı Iğdır formasyonunun istifin tabanını oluşturduğunu belirtmiştir. Bu taban üzerine Liyas yaşlı Bayırköy formasyonu, Dogger-Erken Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşı ve Senomaniyen-Maastrihtiyen yaşlı Yenişehir Grubu uyumsuz olarak geldiği saptanmıştır.

Şengör ve Cin (1988), Uludağ napının hareket yönü ve doğrultusunu belirlemek için yapılan çalışmada, klivaj-kontak düzlemi ilişkisi, fay düzlemine paralel gelişen münferit makaslama zonlarındaki atımlar, kıvrım kanatlarının eğikliği veya devrikliği ve kaplumbağa sırtlarının konumu hakkında bilgiler elde edilmiştir. Bu bilgiler ışığında napın hareket doğrultusunun K30-40B olduğu ve hareket yönünün KB’ya doğru olduğu kanaatine varılmıştır.

Şenyuva (1991), ‘‘Bursa Ovası’nın Hidrojeoloji İncelemesi’’ adlı doktora tez çalışmasında alanın jeoloji, petroloji, hidroloji ve hidrojeolojisini incelemiştir. Ovanın yeraltısuyu bilançosunu hazırlamış ve güvenle çekilebilecek yeraltısuyu miktarını önermiştir. Yeraltısularının kimyasal analiz sonuçları üçgen diyagramlar yardımıyla $CaHCO_3$’lı sular sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Ovadaki yerüstü ve yeraltısuları içme, kullanma ve sulama standartları açısından uygun ve iyi kalitede olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, ovanın güneyi, güneybatısı ve Narlıdere dolaylarının yeraltısuyu işletmesine uygun alanlar olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Balderer (1997), çalışmasında Çekirge sularının CO_2 kaynağının atmosferik olduğunu, Kükürtlü sularının CO_2 kaynağının manto kökenli olduğunu izotop araştırmalaryla belirtmiştir. Çekirge sıcak sularının δ^2H değeri artış gösterirken ve $\delta^{18}O$ değeri azalmaktadır, Kükürtlü sıcak sularının ise δ^2H ve $\delta^{18}O$ değerleri birlikte azalıp artmakta olduğunu tespit etmiştir. Bunun sonucunda beslenme alanı Çekirge sıcak sularının Kükürtlü sıcak sularına göre daha düşük kotlarda olduğunu belirtmiştir.

Erkal ve Emre (1997), Kuvaterner boyunca meydana gelen tektonizma sonucu D-B yönlü Nilüfer Çayı vadisi kuzeyden güneye doğru ötelenmiş olduğu belirlenmiştir. Bu oluşan rölyef terslenmesi Bursa Ovası ve Nilüfer Çayı'na ulaşan güneydeki derelerin vadi tabanlarının ana vadi tabanından daha alt kotta ve daha kalın alüvyon dolgusuna ulaşmış olduğu gözlenmiştir.

Imbach (1997), çalışmada Çekirge ve Kükürtlü termal sularının sırasıyla 50^oC ve 120^oC'den daha az sıcaklıklarda, en az 50 yıl boyunca iki farklı çevrim sisteminde, Uludağ metamorfikleri'nde su-kaya-gaz etkileşimiyle mineralizasyona uğramış olduğunu belirtmiştir. Su-kaya etkileşiminde kalsit çözünmesi ve silikat hidrolizinin etkin olduğu tespit edilmiştir.

MTA (2003), Bursa ilinde yer alan termal ve mineralli suların fiziksel ve kimyasal sınıflamaları, kaptaj, tesis durumu yararlanma şekli ve koruma alanları hakkında bilgiler içermektedir.

Selim ve diğ. (2006), Kuzey Anadolu Fayı'nın güney koluna ait fayları, bu fayların denetiminde oluşan yükselim, çöküntü alanı ve içerisinde yer alan çek-ayır havzalarının oluşum rejimlerini ve havzaların yaşı hakkında araştırma yapmıştırlar. Uludağ yükseliminin Kuzey Anadolu Fayı'nın güney koluna ait normal bileşenli fayların etkisiyle yükseldiğini, Bursa Havzası'nın KD-GB yönlü gerilme rejimi ve buna zıt yönde sıkışma rejimiyle oluştuğunu belirtmişlerdir. Bursa Havzası'nın Plio-Kuvaterner'de geliştiği bahsedilmiştir.

Tut Haklıdır (2007), Bursa ili çevresindeki sıcak, mineralli ve soğuk su kaynaklarının fiziksel, kimyasal ve izotopik analiz sonuçlarıyla suların birbiriyle etkileşimini yorumlamıştır. Suların major anyon ve katyonları diyagramlarla sınıflandırılmıştır. Çalışma alanındaki tüm sularda Uludağ'daki kar sularının erimesi ve süzülmesiyle beslenimin gerçekleştiği yapılan analizlerle görülmüştür. Yeraltısularının sıcak sulara, maden sularına ve kaynak sularına sığ kotlarda karışmakta olduğu kanıtlanmıştır. Bölgedeki sıcak suların daha çok yeraltısuları ile karışım halinde olduğu, fakat maden sularında ise su-kaya etkileşiminin daha baskın olduğu oksijen ve döteryum izotop değerleri ile gözlenmiştir.

MTA (2009), ''Bursa İli Kentsel Alanların Yerbilim Verileri'' adlı raporda Bursa ilinin jeolojisi, depremselliği, hidrolojisi, hidrojeolojisi ve mühendislik jeolojisi konuları incelenmiştir. Raporda, özellikle Bursa ilinde meydana gelen heyelanlar ve oluşturdukları hasarlar irdelenmiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bursa Ovası'nın hidrojeoloji ve jeotermal incelemesini amaçlayan bu çalışma için, öncelikle havzanın jeoloji, hidroloji, hidrojeoloji, hidrojeokimya ve jeotermal sistemini kapsayan çalışmalar incelenmiş ve veriler derlenmiştir. Bu çalışmanın devamını arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları takip etmiştir.

3.1. ARAZİ ÇALIŞMALARI

Çalışma alanı 1/25 000 ölçekli Bursa H21-b3, H21-c2, H22-a3, H22-a4, H22-b4, H22-c1, H22-c4, H22-d1, H22-d2, H22-d3, H22-d4 nolu paftalarda yer almakta ve yaklaşık 793,317 km^2'lik bir alanı kapsamaktadır.

Çalışma alanında litostratigrafik birimler ayırtlanmış ve 1/100 000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. Bu gözlemler yapılırken Brunton tipi jeolog pusulası, jeolog çekici, lup, Garmin marka GPS ve Sony marka fotoğraf makinesi kullanılmıştır.

Bursa Ovası'nda seçilmiş olan 44 adet sondaj kuyusundan Eylül-2011 döneminde su örnekleri alınmıştır. Sondaj kuyularından ikişer adet 500 ml'lik su numuneleri saf su ile yıkanmış polietilen şişelere doldurulmuştur. Bu işlem sırasında, şişeler alınan sularla üç kere çalkalanmış ve hiç hava kalmayacak şekilde doldurulmuştur. Laboratuvar analizleri için su örneklerinin sıcaklıkları korunmuştur. Suların pH, EC, sıcaklık ve sodyum değerleri yerinde ölçümlerle elde edilmiştir. Na katyonu ölçümü için HQ40D Portatif ve Na elektrodu, pH, EC ve sıcaklık ölçümleri için Eutech Instruments Cyberscan aletleri arazide kullanılmıştır.

Jeotermal gaz ölçümü için MultiRAE IR CO_2 gaz deteksiyonu aleti kullanılmıştır. Gaz ölçümü yapılacak alanın sınırları jeoloji haritasında belirlenmiştir. CO_2 gazı ölçüm lokasyonları karelaj metoduyla 25 ve 100 metre aralıklarla seçilmiştir. Bu ölçüm noktalarında CO_2 gazı ölçümü için, yaklaşık 50 cm derinliğinde toprakta delik açılmıştır. Ölçüm aletinin probu bu deliğe yerleştirilmiş ve yüzeyden hava girişi engellenmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Jeotermal gaz ölçümü için MultiRAE IR CO_2 gaz deteksiyonu

3.2. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Bursa Ovası'ndan Eylül-2011 döneminde alınan su numunelerinin hidrojeokimyasal analizleri, İstanbul Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Jeokimya laboratuvarında yapılmıştır (Şekil 3.2). Alınan numunelerin Ca^{+2}, Mg^{+2}, K^{+}, Cl^{-}, SO_4^{-2}, NO_2^{-}, NO_3^{-} ve NH_4^{+} iyon analizleri Lange XION-500 spektrofotometre cihazında ölçülmüştür. HCO_3^{-} ve CO_3^{-2} analizleri Merck-Aquamerck Alkalitäts-Test ile titrasyon yöntemiyle analiz edilmiştir.



Şekil 3.2 Laboratuvarda su numunelerinin analizi

3.3. BÜRO ÇALIŞMALARI

Bu çalışma sırasında öncelikle bölgenin jeolojisi, tektoniği, hidrojeolojisi ve jeotermal kaynaklarını araştıran çalışmalar incelenmiştir. Arazi çalışması ve daha önceki çalışmalardan derlenen veriler sonucunda jeoloji haritası, jeoloji enine kesitleri ve birimlerin litolojik özelliklerinden yararlanılarak oluşturulan hidrojeoloji haritası bilgisayar programına aktarılarak Corel Draw X5 programında çizilmiştir. İnceleme alanının 3 boyutlu sayısal yükseklik görüntüsü, havza sınırı, akarsu ve kaynaklar, sıcak ve soğuk suların lokasyonlarını içeren haritalar Global Mapper 11.0 ve Surfer 9.0 programları aracılığıyla hazırlanmıştır. Su numunelerinin analiz sonuçları ve arazi çalışmaları sırasında elde edilen CO_2 gazı ölçümleri ile yeraltısuyu seviye verileri Microsoft Office programları kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmış ve Surfer 9.0 programında haritalamaları yapılmıştır. Bütün veriler UTM koordinat sisteminde haritalanmıştır. Koordinatlı hazırlanan yeraltısuyu seviye ve kimya haritalamalarında verilerin düzensiz olması sebebiyle Kriging metodu kullanılmıştır. İnceleme alanında bulunan sıcak ve soğuk suların kimyasal özellikleri ve kullanım tipine göre sınıflandırılmasında yardımcı olan diyagramlar ve grafikler Aq.Qa Versiyon 1.1, Aqua chem 4.0 ve Surfer 9.0 programları ile oluşturulmuştur.

4. BULGULAR

4.1. BÖLGESEL JEOLOJİ

İnceleme alanının bulunduğu Sakarya Kıtası, kuzeyinde İç-Pontid ve güneyinde İzmir-Ankara kenet kuşaklarıyla İstanbul ve Tavşanlı kıtalarından ayrılmaktadır (Şekil 4.1). Sakarya Kıtası tabanda Paleozoyik yaşlı Uludağ masifine ait metamorfik kayalar (Uludağ metamorfitleri ve Uludağ mermeri), bu metamorfik kayaları tektonik olarak üzerleyen, Permiyen-Triyas yaşlı Karakaya Kompleksi'ne ait dalma-batma zonu kayaları ve bunları uyumsuzlukla örten Jura ve Alt Kretase yaşlı çökellerden oluşmaktadır (Tekeli, 1981; Okay ve diğ. 1990, 1996; Akyüz ve Okay, 1996).



Şekil 4.1 Anadolu levhası ve çevresinin ana kenet kuşakları ve kıtasal blokları gösterir harita (Okay ve Tüysüz, 1999)

Sakarya Kıtası'nın temelindeki Paleozoyik yaşlı Uludağ metamorfitleri ve Uludağ mermeri orta-kaba taneli felsik gnayslar, bantlı amfibol ve karstik mermerler ile ardalanmalıdır. Bu birimlerin metamorfizma dereceleri amfibolit fasiyesinden granülit fasiyesine kadar uzanmakta olup lokal anateksi gösterirler ve yapısal kalınlıkları 10 km'den fazladır (Bingöl, 1974; Okay ve diğ., 1991). Serpantinit, metabazik, metadetritik, amfibolit blok ve dilimlerinden oluşan eski bir ofiyolitik melanj olduğu

düşünülen metaultramafitler Uludağ metamorfitleri ve Uludağ mermerini tektonik olarak üzerler (Genç, 1986). Bu birimleri tektonik olarak üzerleyen Triyas yaşlı kaya türlerini içeren Karakaya grubu ilk defa Biga Yarımadası'nda düzenli bir istif olarak tanımlanmıştır (Bingöl, 1968). Karakaya grubu, başlıca dört tektonostratigrafik birimden oluşmaktadır. Bunlar çoğunlukla metabazit ve metapelitik kayalardan, az oranda da kalkşistten oluşan Nilüfer formasyonu (TRkn), beyaz-gri renkli, bazen orta-kalın tabakalı, iri kristalli, sık eklemli ve çatlaklı, oldukça kalın ve homojen bir istiflenme sunan Çataltepe mermeri (TRkç), konglomera, kumtaşı, feldispatlı kumtaşı, mikalı kumtaşı, grovak, silttaşı, kiltaşı, kireçtaşı ardalanımı yanı sıra radyolarit, diyabaz ve spilit ara katkılı Avdancık formasyonu (TRkav) ve spilit, spilitik bazalt, çamurtaşı, spilitik kumtaşı, radyolarit, diyabaz ve kireçtaşından oluşan Abadiye formasyonu (TRkab)'dur (Okay ve diğ., 1990, 1996; Akyüz ve Okay, 1996; Genç, 1986). Karakaya grubunu oluşturan bu topluluk zaman zaman volkanik aktivitenin etkin olduğu, yeşilsişt ve glokofanlı yeşilsişt fasiyesinde metamorfizmaya uğramış Liyas öncesinde Triyas çanağında gelişmiştir (Yılmaz, 1981; Genç, 1992). Karakaya grubu içerisinde bloklar halinde bulunan, sığ sularda çökelmiş rekristalize kireçtaşlarına Genç (1986) tarafından Yörüktepe formasyonu adı verilmiştir. Karakaya grubu kayaları ile geçişli olan, duraylı, sakin ve sığ ortamda çökelen Holobia Stryaica Mojs fosili içeren kumtaşları ve kiltaşlarına (Iğdır formasyonu) Üst Triyas yaşı verilmiştir (Erk,1942; Genç, 1986).

Sakarya Kıtası'nın temelinde bulunan bu kaya birimleri üzerine, sığ denizde karasal ve akarsu çökellerinin depolandığı ve denizin gittikçe derinleştiği ortamda transgresyon ürünü olan çakıltaşı, kumtaşı, kireçtaşı, kiltaşı ve üst seviyelerinde Rosso Ammonitiko fasiyesi kayalarını içeren Liyas yaşlı Bayırköy formasyonu (Jba) çökelmiştir (Granit ve Tintant, 1960; Altıner ve diğ., 1989). Bayırköy formasyonu üzerine Granit ve Tintant (1960) tarafından ''Bilecik Kireçtaşı'' olarak adlanan beyaz, krem, pembe, koyu sarı renkli, denizel ortamda çökelmiş tipik platform karbonatları özelliğinde olan kireçtaşları gelmektedir. Birim açık renkli, belirsiz katmanlı biyomikrit, kumlu mikrit, algli mikrit ve oolitik mikritten oluşur.

Üst Kretase boyunca duraylı derin ve yer yer sığ deniz ortamında zaman zaman volkanik aktivitenin etkin olduğu ortamda fliş çökelleri oluşmuştur. Fliş çökellerinin oluşturduğu farklı litolojik istifler Genç (1986) tarafından adlanmıştır.

Üst Kretase sonu Alt Paleosen'de deniz sığlaşarak Genç (1986) tarafından Güneytepe formasyonu (Tpg) adı verilen resifal kireçtaşının çökelmesi gerçekleşmiştir. Bölgede Ypresian başı ve Lütesiyen boyunca volkanik etkinlik sonucu bazaltlar oluşmuştur (Genç, 1986). Eosen'de konglomera, çamurtaşı, kumtaşı, kireçtaşı ve tüflerden oluşan istif çökelmiştir.

Batı Anadolu'da Paleosen-Erken Eosen zamanında Sakarya Kıtası ile Anatolid-Torid platformun çarpışmasıyla Alpin orojenezine yol açmıştır. Granitoyidler oluşan bu K-G yönlü sıkışma rejiminin etkisi altında gelişen kabuk kalınlaşması sonucunda Oligo-Miyosen döneminde yerleşmiştir (Delaloye ve Bingöl, 2000, Okay ve diğ. (2008). Çarpışma sonucunda bölgenin yükselmesiyle aşınmalar gerçekleşmiştir. Bu alanlarda Orta-Üst Miyosen ve Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaşlı sedimenter birimler çökelmiştir. Üst Pliyosen'de Kuzey Anadolu Fayı ve buna bağlı kolların oluşmasıyla bölgenin morfolojisi değişmiştir (Şengör, 1979). Bu fayların etkisiyle Bursa Ovası açılmış olup yamaç molozu, akarsu yelpazesi, alüvyon ve travertenler oluşmuştur.

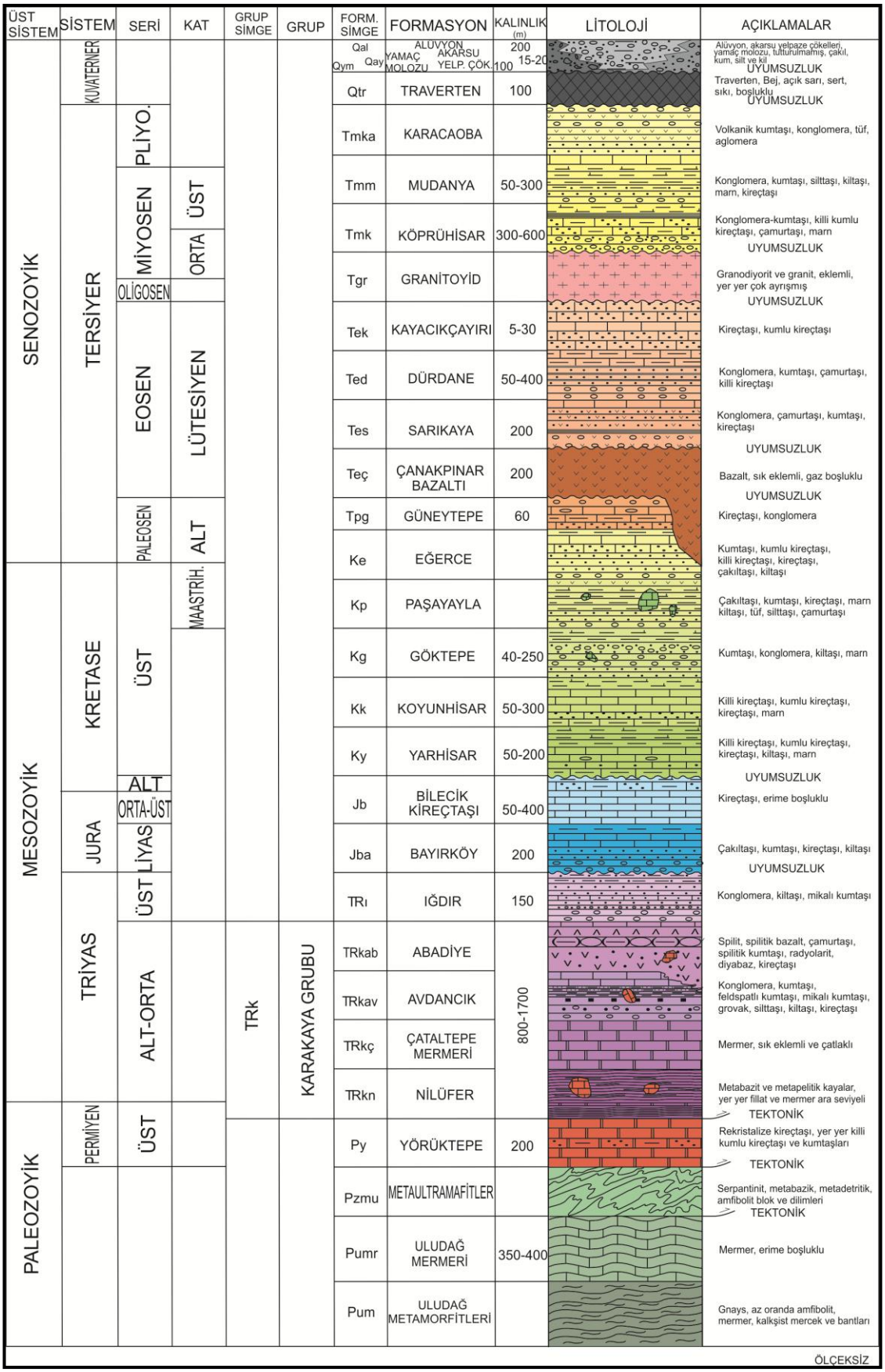
4.2. STRATİGRAFİ

İnceleme alanının temelini Paleozoyik yaşlı gnays, amfibolit ardalanmasından oluşan metamorfik kayaçlar (Pum), bu kayaları uyumlu örten mermerler (Pumr) ile bu topluluğu kesen granitoyidler Uludağ masifini oluşturmaktadır.

Bu temel üzerine ilişkisi net olarak görülemeyen ancak görülebildiği yerlerde tektonik ilişkili olan Paleozoyik yaşlı metaultramafitler (Pzmu) gelmektedir. Alt-Orta Triyas yaşlı Karakaya grubu (Trk) Paleozoyik yaşlı temel kayalarla devamlı faylı dokanaklı olup Üst Permiyen yaşlı rekristalize kireçtaşı (Yörüktepe formasyonu) blokları içermektedir. Üst Triyas yaşlı Iğdır formasyonu (Trı) ise Karakaya grubu (TRk) ile geçişlidir.

Transgresyon ürünü olan Alt Jura yaşlı Bayırköy formasyonu (Jba) ve Orta Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşı (Jb) Triyas yaşlı birimler üzerine uyumsuzlukla gelmektedir. Üst Kretase-Paleosen zaman aralığında çökelen istif birbiriyle geçişli ve daha yaşlı birimlerle uyumsuzdur; alttan üste doğru Yarhisar formasyonu (Ky), Koyunhisar formasyonu (Kk), Göktepe formasyonu (Kg), Paşayayla formasyonu (Kp), Eğerce formasyonu (Ke) ve Güneytepe formasyonu (Tpg) olarak temsil edilmektedir. Ypresian sonrası Lütesiyen başında bölgedeki volkanizma sonucu Çanakpınar bazaltı (Teç) oluşmuştur. Çanakpınar bazaltını, Lütesiyen yaşlı birbirleri ile geçişli Sarıkaya formasyonu (Tes), Dürdane formasyonu (Ted) ve Kayacıkçayırı formasyonu (Tek) uyumsuz olarak örtmektedir.

İnceleme alanında yüzeylenen bu birimler Oligo-Miyosen yaşlı granitoyidler (Tgr) tarafından kesilmektedir. Orta-Üst Miyosen yaşlı sığ denizel çökelleri içeren Köprühisar formasyonu (Tmk) ve Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaşlı sedimenter birimlerden oluşan Mudanya formasyonu (Tmm) daha yaşlı birimleri uyumsuzlukla örter. Volkanik kumtaşı, konglomera, tüf ve aglomeralardan oluşan Pliyosen yaşlı Karacaoba formasyonu (Tmka), Mudanya formasyonunu (Tmm) uyumsuzlukla örter ve traverten (Qtr) tarafından da uyumsuz olarak örtülmektedir. Kuvaterner yaşlı yamaç molozu (Qym), akarsu yelpazesi (Qay) ve alüvyon (Qal) inceleme alanındaki tüm birimleri uyumsuz olarak örtmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafi sütun kesiti

4.2.1. Uludağ Metamorfitleri (Pum)

Birim, Ketin (1947) tarafından A serisi, Şenyuva (1991) tarafından Uludağ metamorfitleri olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada da birim adı Uludağ metamorfitleri olarak kullanılmıştır. İnceleme alanının güneyinde bulunan Uludağ granodiyoritinin çevresinde gözlenmektedir.

Uludağ merkezi kesiminde yüzeyleyen yüksek dereceli metamorfik kayalar, gnays ile daha az oranda amfibolit ardalanması, mermer ve kalkşist mercek ve bantlarından oluşmaktadır. Birim tabanında yeşil-açık kahve, gri-beyaz renklerde gnayslar, siyaha yakın yeşilden açık yeşile kadar farklı tonlarda amfibolitler yer almaktadırlar. Mermer ve kalkşistler, gnays ve amfibolitlerin ardalanmasında kalınlığı birkaç metre ile onlarca metre arasında değişen bant ve mercekler halinde bulunmaktadır. Gnays ve amfiboller çok iyi şistozite gösterirler ve genellikle KB-GD doğrultulu ve kuzeye dikçe eğimlidir. Ayrıca, KB-GD yönelimli yataya yakın, kuvvetli mineral lineasyonu gelişmiştir (MTA,2009).

Bürküt (1966)'e göre metamorfik kayaçlar:
Muskovit – Kilnozoizit – Pistazit – Flogopit - Grönalı gnays (Gökdere içinde);
Diyopsit – Aktinolit – Pistazit - Sfenli gnays (Karabelen çevresinde);
Biyotit – Epidot – Gröna – Mikroklin - Plajioklas (An_{20}) gnays (Soğukpınar-Karabelen arasında);
Hornblend – Epidot - Gnays (Karagöller bölgesinde);
Amfibolitlerden de
Hornblend (yeşil) - Epidot (pistazit) – Gröna – Sfen - Plajiyoklas (An38) - Amfibolit (Zirveye yakın bölgelerde);
Hornblend – Epidot – Plajioklas – Biyotit - Amfibolit (Teşvikiye çevresinde) yer almaktadır.

İnceleme alanında gnayslar daha çok granitin çevresinde yer alırlar. Kedimerdiveni sırtı kuzeydoğusunda ve Keçiyatağı mevki batısında amfibolitler genellikle gnayslarla ardalanımlı bulunurlar (Şenyuva, 1991).

Uludağ metamorfitlerinin kalınlığı tabanının belirgin olarak izlenemediğinden net olarak bilinememektedir. Uludağ metamorfitleri, Uludağ mermeri ile uyumlu olarak örtülür ve Uludağ granodiyoriti tarafından kesilmiştir. Birçok araştırmacı Uludağ metamorfitlerinin Paleozoyik yaşında olabileceği görüşündedir (Ketin, 1947; Erişen ve Öngür, 1976; Şengör ve Cin, 1988; Imbach, 1992; Okay ve diğ., 2008). Amfibolitler pelitik kökenli kayaçlardan ve muhtemelen şeylden oluşmuştur. Gnayslar ise iki farklı kökene aittir. Bunlardan biri ince kristalli ve iyi yönlenmeli, muhtemelen amfibolitleri oluşturan köken kayacı ile aynı ortamda çökelmiş ve feldispatça zengin klastik kayaçlardır. Diğer tür gnayslar ise metamorfizmadan daha az etkilenmiş, magmatizmaya bağlı gelişen ve amfibolitler arasına sokulmuş olan asit bileşimli (granitik, granodiyoritik) kayalar sonradan basınç etkisinde gnayslaşmışlardır (Şengör ve Cin, 1988).

4.2.2. Uludağ Mermeri (Pumr)

İnceleme alanında mermerler Alaçam köyü güneyinden başlar, Saitabat, Derekızık, Hamamlıkızık, Cumalıkızık, Fidyekızık ve Değirmenlikızık köylerinin güneyinde; Uludağ'ın kuzey yamaçları boyunca bir şerit halinde bulunmaktadır.

Genellikle beyazımsı açık gri olan mermerler; ince-orta-kalın tabakalı, bazen masif, kırıklı, eklemli, yer yer erime boşluklu, erime yüzeyli, sert ve sağlam dayanımlıdır. Karstik yapıda olan bu mermerlerin foliasyon düzlemleri Uludağ metamorfitleri ile uyumludur. Uludağ mermerinde karstlaşma çok yaygın olup ileri derecede karstlaşma sonucu mağaralar oluşmuştur. Mermerler, bazı bölgelerinde karstik erimenin daha az olmasıyla kısmen bandlı yapı gösterirler (Şengör ve Cin, 1988; Şenyuva, 1991). Mermerler kalsit ve dolomitten oluşmuştur (Yurdagül, 2004). Uludağ'ın zirveye yakın kesimlerinde granodiyorit ve mermer kontağında skarn zonu oluşmuştur.

Uludağ mermerlerinin üzerine metaultramafitler ve Karakaya grubu kayaları ile tektonik ilişkili, daha genç birimler tarafından da uyumsuz olarak örtülür. Uludağ plütonu tarafından kesilmiştir. Uludağ mermerinin kalınlığı 350-400 metre kadardır (Ketin, 1947). Birçok araştırmacı Uludağ mermerlerinin Paleozoyik yaşında olabileceği görüşündedir (Ketin, 1947; Erişen ve Öngür, 1976; Şengör ve Cin, 1988; Imbach, 1992; Okay ve diğ., 2008).

4.2.3. Metaultramafitler (Pzmu)

İnceleme alanında Ümitalan köyü dolayında kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı şerit halinde gözlenmektedir. Serpantinit, metabazit, metadetritik, amfibolit blok ve dilimlerinden oluşur. Serpantinitler, açık yeşil, koyu yeşil, mor, kahve renkli, ileri derecede metamorfize, çok ayrışmış, kromit, magnetit kristalli ve çok tektonizedir. Yer yer asbest ve manyezit içerir (Genç, 1986).

Metaultramafitlerin alt dokanağı Uludağ mermeri ve üst dokanağı Karakaya grubu ile tektonik ilişkili, daha genç birimler tarafından uyumsuz olarak örtülür. Genç (1986)'e göre yorumsal olarak Paleozoyik yaşındadır. Serpantinitlerin ilksel konumda peridotit, bazik lav, tüf, diyabaz ve gabrodan oluşan manto malzemesi içerisine sedimenter birimlerin karışmış olması sebebiyle eski bir ofiyolitik melanj olduğu düşünülmektedir (Genç, 1986).

4.2.4. Yörüktepe Formasyonu (Py)

Birim ilk kez Genç (1986) tarafından en iyi mostrası Yörüktepe civarında gözlendiği için Yörüktepe formasyonu adı verilmiştir. İnceleme alanındaki en geniş mostra alanı Kestel civarında bulunması yanı sıra Karakaya grubu içerisinde geniş alanlarda gözlenir.

Yörüktepe formasyonu, genellikle rekristalize kireçtaşından oluşur. Bazı yerlerde killi kumlu kireçtaşı ve kumtaşları içermektedir. Kireçtaşları koyu gri, siyah, beyaz, sarımsı renkli, sert, orta-kalın, yer yer düzgün, çoğunlukla belirsiz tabakalı, erime boşluklu ve erime yüzeylidir (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4). Genellikle çok sık çatlaklı, eklemlidir. Eklem ve çatlakları kalsit dolguludur. Bol fusulin, mercan ve makro fosilli olan birim, yer yer kumlu, oolitik ve resifal kireçtaşı özellikleri gösterir. Topografyada tepeler ve kornişler oluşturmaktadır. Triyas yaşlı Karakaya grubuna ait formasyonlar içinde bloklar halinde izlenir (MTA, 2009).

Metamorfik temelle uyumsuz olup, üst dokanağı yer yer faylı, çoğunlukla Liyas detritikleri, Orta Jura-Alt Kretase kireçtaşları, Üst Kretase ve Neojen yaşlı birimlerce uyumsuz olarak örtülür. Birimin kalınlığı Genç (1986)'e göre yaklaşık 200 metredir ve

Üst Permiyen yaşındadır. Yörüktepe formasyonunu oluşturan kireçtaşı içerdiği fosil kapsamıyla temiz ve 50 m'yi geçmeyen sığ sularda gelişmiştir (Genç, 1986).



Şekil 4.3 Iğdır köyünde gözlenen Yörüktepe formasyonu (Çekim yönü KB)



Şekil 4.4 Iğdır köy yolunda gözlenen Yörüktepe formasyonu (Çekim yönü KD)

4.2.5. Karakaya Grubu (TRk)

Biga yarımadasında başlıca metalav, metatüf, metapelit türü kısmen metamorfik kayalar ile bunlar içerisindeki çeşitli bloklardan oluşan, Tiyas yaşlı kaya türleri ilk kez Bingöl (1968) ve Bingöl ve diğ. (1973) tarafından Karakaya grubu veya Karakaya formasyonu olarak adlandırılmış ve tanımlanmıştır. Bingöl (1968) tarafından Karakaya grubu olarak adlandırılmış birimlerle benzer özellikler sunan Triyas yaşlı kayatürleri, inceleme alanında yüzeylenmektedir. Yapılan araştırmalara göre (Okay ve diğ., 1990, 1996; Akyüz ve Okay, 1996; Genç, 1986) Karakaya grubu, başlıca dört tektonostratigrafik birimden oluşmaktadır. Bunlar, inceleme alanında Nilüfer formasyonu (TRkn), Çataltepe mermeri (TRkç), Avdancık formasyonu (TRkav) ve Abadiye formasyonu (TRkab) adı verilerek tanıtılmıştır. En altta yer alan, Okay ve diğ. (1990) tarafından Nilüfer birimi olarak tanıtılan istif, bu çalışmada Nilüfer Formasyonu ve Çataltepe Formasyonu olmak üzere iki formasyona ayrılmıştır.

Karakaya grubu kayaları inceleme alanında geniş yayılımlar göstermektedir. Karakaya grubu konglomera, mikrokonglomera, kumtaşı, feldispatlı kumtaşı, mikalı kumtaşı, grovak, kiltaşı, bazik volkanit ve kireçtaşı istiflenmesinden meydana gelmiştir (Şekil 4.5). Ayrıca radyolarit, diyabaz ve spilit ara katkılıdır. Karakaya grubunun yaklaşık kalınlığı 800-1700 m arasında değişir. Ancak, çok kıvrımlı ve kırıklı yapı gösterdiği için kesin kalınlık verilememektedir (Şenyuva, 1991).

Karakaya grubu Paleozoyik yaşlı temel kayalarla dokanağının devamlı faylı, üst dokanağı Iğdır formasyonu ile geçişlidir. Daha genç birimler tarafından uyumsuz olarak örtülür ve Üst Permiyen yaşlı rekristalize kireçtaşı blokları içerir. Karakaya grubu Üst Permiyen Alt Triyas boyunca çökelmiş ve Triyas içinde metamorfizmaya uğramıştır (Tekeli, 1981). Grup Alt Jura'da yükselerek aşınmaya uğramış ve Jura yaşlı kayalar tarafından uyumsuz olarak örtülmüştür (Altınlı, 1975; Saner, 1980). Bu bilgilerle Karakaya grubu Alt-Orta Triyas yaşındadır. Karakaya grubunu oluşturan kaya topluluğu farklı ortamlarda çökelme sonucu oluşmuşlardır. Radyolaritler ve çamurtaşları derin deniz, konglomera ve kumtaşları sığ denizde çökelmişlerdir. Spilitler, derin veya sığ denizde sedimantasyon devam ederken zaman zaman volkanik aktivitenin oluştuğunu göstermektedir. Kumtaşı ve feldispatlı kumtaşı duraylı ortamda çökelmişlerdir. Karakaya grubunun Permiyen yaşlı rekristalize kireçtaşı bloklarını içermesi, grubun oluştuğu çanağın tektonik açıdan aktif olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.5 Fidyekızık civarında gözlenen Karakaya grubu (Çekim yönü G)

4.2.5.1. Nilüfer Formasyonu (TRkn)

İlk defa Okay ve diğ. (1990-1998) tarafından Nilüfer çayı (Bursa) civarında Nilüfer formasyonu olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanının güneybatısı ve güneydoğusunda geniş alanlarda yayılım göstermektedir.

Birim, çoğunlukla metabazit ve metapelitik kayalardan, az oranda da kalkşistten oluşur. Yer yer fillat ve mermer ara seviyeli, yeşil renkli metatüflerden oluşan bir istiflenme sunar (Şekil 4.6 ve 4.7). Tüm kayalarda belirgin bir foliasyon ve yersel gelişmiş mineral yönelimi izlenir. Metamorfitleri oluşturan metabazitlerde gözlenen yaygın mineral parajenezi; kalsik amfibol, albit/oligoklas, epidot, klorit, sfen, kalsit, kuvars ve opak minerallerdir. Birim, yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiştir. Bu birimin üzerine Çataltepe mermerleri gelir. Nilüfer formasyonu, yorumsal olarak Permo-Triyas yaşındadır (Akyüz ve Okay, 1996).



Şekil 4.6 Süleymaniye köy yolu üzerinde gözlenen Nilüfer formasyonu (Çekim yönü D)



Şekil 4.7 Derekızık köyünde gözlenen Nilüfer formasyonu (Çekim yönü K)

4.2.5.2. Çataltepe Mermeri (TRkç)

Birim, Akyüz (1995) tarafından ‘‘Çataltepe Mermeri’’ olarak adlandırılmıştır. Birim adını Manyas’ın güneybatısındaki Çataltepe civarındaki yaygın mostralardan almıştır. Çalışma alanının güneydoğusunda Dedebayır tepe, Kocakuz tepe ve Burhaniye köyünün doğusunda geniş yüzlekler vermektedir.

Mermerler beyaz-gri renkli, bazen orta-kalın tabakalı, iri kristalli, sık eklemli ve çatlaklıdır (Şekil 4.8). Oldukça kalın ve homojen bir istiflenme sunar. Genellikle ince, değişik kalınlıkta silis bantları içerir (MTA, 2009).

Çataltepe mermerlerinin altında kısa mesafelerde metabazit, mikaşist, kuvars şist gibi farklı litolojilerin yer alması, bu iki birim arasında, rejyonal metamofizma öncesi bir uyumsuzluğun var olduğuna işaret eder (Akyüz ve Okay, 1998). Çataltepe mermeri, sığ denizel ortamda çökelmiştir.



Şekil 4.8 Dedebayır tepede gözlenen Çataltepe mermeri (Çekim yönü KB)

4.2.5.3. Avdancık Formasyonu (TRkav)

Birim, Genç (1986) tarafından ‘‘Avdancık Formasyonu’’ olarak adlandırılmıştır. Birim, adını en iyi görüldüğü mevkii olan Avdancık köyü ve çevresinden almıştır. Çalışma alanında ovanın kuzey-kuzeydoğusunda çok geniş alanlarda yüzeylenmektedir.

Kahve, boz, siyah, yeşil, mor ve sarı renkli, kalın-orta-ince, yer yer düzgün tabakalı, konglomera, kumtaşı, feldispatlı kumtaşı, mikalı kumtaşı, grovak, silttaşı, kiltaşı, kireçtaşı ardalanımından oluşur. Ayrıca radyolarit, diyabaz ve spilit ara katkılıdır. Çeşitli cins ve yaşta kireçtaşı blokları içerir. Konglomera ve kumtaşı seviyeleri sert ve kalın tabakalıdır. Kiltaşları, kıvrımlı, ince-orta tabakalı, kırılgan ve yer yer devriktir. Kayma yapıları, eklem ve kırıklar çok yaygındır. Kumtaşları beyaz-krem renkli, kalın tabakalı, beyaz kuvars çakıllıdır. Değişik yerlerde kireçtaşı ardalanımlı detritikler arasında spilitler gözlenir. Ara tabakalı olarak izlenen kireçtaşları, genellikle gri-beyaz renkli, orta-ince tabakalı ve fosilsizdir. Diğer birimlerle ardalanımlı olan kongromeralar boz, kahve renkli sert ve kalın tabakalıdır. Permiyen ve Karbonifer yaşlı çakıl ve bloklar içerir (MTA, 2009) (Şekil 4.9 ve 4.10).

Tabanı net görülemeyen birimin alt dokanağı tektoniktir. Üstten Abadiye formasyonu ve Iğdır formasyonu ile geçişlidir. Birimin yaşı yorumsal olarak Permiyen sonrası ile Üst Triyas arasıdır (Genç, 1986).



Şekil 4.9 Ağlaşan köy yolu üzerinde gözlenen Avdancık formasyonu (Çekim yönü KB)



Şekil 4.10 Turan köyünde gözlenen Avdancık formasyonu (Çekim yönü KB)

4.2.5.4. Abadiye Formasyonu (TRkab)

Birim, Genç (1986) tarafından ‘‘Abadiye Formasyonu’’ olarak adlanmıştır. Birim adını iyi gözlendiği Abadiye köyünden almaktadır. Çalışma alanında Avdancık köyünün batısında kuzeydoğu-güneybatı yönelimli, Kestel ilçesi güneyinde ve Çataltepe köyü çevresinde yüzeylenmektedir.

Genellikle kırmızı, kahve mor ve yeşil renkli, som görünüşlü spilit, spilitik bazalt, çamurtaşı, spilitik kumtaşı, radyolarit, diyabaz ve kireçtaşından oluşur. Detritik seviyeleri yer yer tabakalıdır. Spilitlerde nadiren yastık lav yapısı görülür. Radyolaritler kırmızı renkli, karışık görünümlü, sert ve kıvrımlı tabakalıdır (Şekil 4.11). Spilit seviyeleri, çok ayrışmış, bazen gaz boşluklu, çoğunlukla ikincil karbonat ve albit dolguludur. Diyabazlar, çoğunlukla yeşil-boz renkli, sert ve sağlam dayanımlıdır. İlksel ilişkili Permiyen kireçtaşı blokları içerir (MTA, 2009).

Avdancık formasyonunun üzerinde ve yer yer de girik olarak izlenir. Üzerine Liyas, Dogger-Alt Kretase, Üst Kretase ve Neojen yaşlı kaya türleri uyumsuz olarak gelmektedir. Birimin yaşı yorumsal olarak Permiyen sonrası ile Üst Triyas arasındadır (Genç, 1986).



Şekil 4.11 Kestel ilçesi güneyinde gözlenen Abadiye formasyonu (Çekim yönü G)

4.2.6. Iğdır Formasyonu (TRı)

İlk kez Erk (1942) tarafından bölgede yapılan çalışmada Üst Triyas yaşlı detritikler tespit edilmiştir. Daha sonra bölgede yapılan çalışmalarda birimin litoloji içeriği, kıvrım stili ve gidişleri, bloklu seri özelliği göstermemesi ile Karakaya grubundan ayrı tutulmuştur (Genç,1986). Birim ilk kez Genç (1986) tarafından Iğdır formasyonu olarak adlandırılmıştır. Formasyon adını en iyi gözlendiği yer olan Bursa ili Iğdır köyünden alır. Çalışma alanında birim, Iğdır köyü kuzeydoğusunda tipik yüzlekler vermektedir.

Iğdır formasyonu, gri-kahve renkli konglomera, kiltaşı, mikalı kumtaşından oluşmaktadır. Alt seviyelerinde konglomera ve kumtaşı hakim olup, üste doğru kumlu, kırmızı-gri kireçtaşı ara katkıları ile fosilli, mikalı kumtaşı-kiltaşına geçer. Konglomeralar, kahve-boz renkli, kalın tabakalı, kuvars, şist, kireçtaşı çakıllı ve karbonat çimentoludur. Çakıllar genellikle yuvarlak ve 1-5 cm boyundadır. Kumtaşı seviyeleri, yeşil-gri-kahve-sarı renkli, kalın-düzgün tabakalı, kireçtaşı, kuvars, plajiyoklas, biyotit, şist taneli ve karbonat çimentoludur (MTA, 2009).

Iğdır formasyonu alt dokanağı olan Abadiye formasyonu ile geçişli olan birim Iğdır köyü kuzeydoğusunda K45D doğrultulu ve 55GD eğimli bir fayla dokanaktadır. Birimin kuzeydoğusu da granit sokulumu tarafından kesilmiş ve Jura yaşlı Bilecik kireçtaşı ile uyumsuz olarak örtülür. Birimin kalınlığı 150 m kadardır (Genç, 1986). Erk (1942), kumtaşları ve kiltaşlarında Holobia Stryaica Mojs fosili gözlemlemiş ve bu bilgiye göre birimin yaşını Üst Triyas olarak belirlemiştir. Birim, duraylı, sakin ve sığ ortamda hızlı sedimantasyon sonucu çökelmiştir (Şenyuva, 1991).

4.2.7. Bayırköy Formasyonu (Jba)

İlk kez Orta Sakarya dolaylarında Granit ve Tintant (1960) tarafından Bayırköy kumtaşı olarak adlanan Bayırköy formasyonu, Altınlı (1965) tarafından haritalanabilir bir birim olarak tespit edilmiştir. Gürpınar (1976), bu birimi Bayırköy formasyonu olarak değiştirmiştir. Birimin tipik olarak görüldüğü yer Bilecik iline bağlı Bayırköy dolayıdır. Formasyon, inceleme alanında bazı litolojik farklarla birlikte aynı adla incelenmiştir. Bayırköy formasyonu, Ericek ve Karahıdır köyleri kuzeyinde yüzlekler vermektedir.

Birim genellikle kalın tabakalı çakıltaşı, kumtaşı, kireçtaşı ve kiltaşlarından oluşmaktadır. Bu kaya türleri yersel olarak, değişik kalınlıkta litolojik farklılıklar sunmaktadır. Çoğunlukla taban çakıltaşı ile temel üzerine gelir. Çakıltaşları, kırmızı-kahve-boz-yeşil renkli, 1-10 cm çapında köşeli az yuvarlak, kalsiyum karbonat ve demiroksit çimentoyla iyi tutturulmuş, kötü boylanmalı ve kalın tabakalıdır. Ericek köyü kuzeyinde Bayırköy formasyonu, Avdancık formasyonu üzerinde, boz kahve renkli, kalın tabakalı, sıkı tutturulmuş, yuvarlak gri renkli (1-20 cm çapında) Permiyen kireçtaşı çakıllı konglomera seviyesi ile uyumsuz olarak gelir. Çakıltaşı üzerinde kumtaşı, kiltaşı ve kireçtaşı düzeyleri ardalanarak devam eder. Üst kesimlerde ise kırmızı renkli, bol fosilli (Ammonitiko Rosso'lu düzeyler), kumlu kireçtaşı, kireçtaşı seviyeleri gözlenir (Şenyuva, 1991).

Alt dokanağı Yörüktepe, Avdancık ve Abadiye formasyonları ile uyumsuz (Altınlı, 1965), üst dokanağı ise Bilecik kireçtaşı ile uyumludur (Saner, 1978, 1980; Yılmaz, 1981; Genç, 1986). Birimin kalınlığı birkaç metreden 200 metreye kadar değişmektedir (Şenyuva, 1991). Bayırköy formasyonunun içerdiği makro ve mikro fosil topluluğuna

göre birimin yaşı Alt Jura (Liyas)'dır (Genç, 1986). Formasyon, sığ denizde çökelip gittikçe derinleşmiştir (Şenyuva, 1991).

4.2.8. Bilecik Kireçtaşı (Jb)

Birim ilk kez Granit ve Tintant (1960) tarafından ''Bilecik Kireçtaşı'' olarak adlanmıştır. Birim, Bilecik şehir merkezi ve çevresinde tipik kesitler sunması nedeniyle adını buradan almıştır. Bilecik kireçtaşı inceleme alanında Dışkaya köyü çevresinde, Karahıdır ve Ericek köylerinin kuzeyinde yüzeylenmektedir.

Bilecik kireçtaşı, beyaz, krem, pembe, koyu sarı renkli, orta-kalın tabakalı, sıkı, sert, köşeli kırıklı, erime boşluklu ve erime yüzeylidir (Şekil 4.12). Karstlaşmış seviyelerinde tabakalanma çoğunlukla seçilemez. Kırık ve eklem sistemleri iyi gelişmiş ve kalsit dolguludur. Üst kısımlarında çört bant ve yumruları gözlenir. İstifin üst düzeyleri ince tabakalı, kırmızı-sarı renkli, killi kumlu kireçtaşı ve yer yer marn ara seviyeleri içerir. Bilecik kireçtaşı açık renkli, belirsiz katmanlı biyomikrit, kumlu mikrit, algli mikrit ve oolitik mikritten oluşur. Birim yer yer ammonit, belemnit ve lamellibranş makrofosillidir (MTA, 2009).

Bilecik kireçtaşı altında her zaman Bayırköy formasyonu bulunmaz. Bayırköy formasyonu üzerinde geçişli, daha yaşlı birimler üzerinde uyumsuzlukla yer alır. Üst dokanağı olan Üst Kretase birimleri ile uyumsuzdur. Birimin kalınlığı yaklaşık 50-400 metre arasındadır (Genç, 1986). Birim, Genç (1986)'e göre Jura- Alt Kretase yaşındadır. Bilecik kireçtaşı, denizel ortamda çökelmiş tipik platform karbonatları özelliğindedir. Birimde kumlu ve oolitik kireçtaşlarının varlığı sığ ortamı; ammonit fosili ve bol alglerle oolitlerin ve kireçtaşlarının varlığı düşük enerjili sığ ortamı işaret etmektedir. Bilecik kireçtaşı istifinin üst düzeylerinin killi kumlu kireçtaşı şeklinde olması denizin yer yer derinleştiğini göstermektedir (Bargu, 1982).



Şekil 4.12 Dışkaya köyü çevresinde gözlenen Bilecik kireçtaşı (Çekim yönü D)

4.2.9. Yarhisar Formasyonu (Ky)

Birim ilk kez Genç (1986) tarafından ‘‘Yarhisar formasyonu’’ olarak adlanmıştır. Adını en iyi gözlendiği yer olan Yarhisar köyü ve çevresinden almıştır. Birim inceleme alanında Ümitalan köyü çevresinde yüzeylenmektedir.

Kiremit kırmızısı, pembe, sarı, krem ve boz renkli, kıvrımlı, ince-orta, nadiren kalın düz tabakalı, killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, konglomeratik kireçtaşı, kireçtaşı, kiltaşı ve marndan oluşur. Kireçtaşı seviyeleri, yer yer çört yumrulu ve bantlı, çok kırılgan, sert, yaygın kalsit damarlıdır; bazen ignimbirit ve tüfler içerir (MTA, 2009).

Alt dokanağı Bilecik kireçtaşı ve daha yaşlı birimler (Abadiye formasyonu) üzerinde uyumsuz olarak görülmektedir. Üst dokanağı ise Neojen detritikleri ile uyumsuz olarak örtülür. Birimin kalınlığı 50-200 metre arasında değişir. Birim, Genç (1986)’e göre Üst Kretase yaşındadır. Formasyonda killi kireçtaşı ve kiltaşı istiflenmesi duraylı ve derin deniz ortamında çökelmiş olduğunu belirtir.

4.2.10. Koyunhisar Formasyonu (Kk)

Birim, Genç (1986) tarafından ‘‘Koyunhisar Formasyonu’’ olarak formasyonun en iyi gözlendiği Koyunhisar köyü dolayından adlanmıştır. Çalışma alanının kuzeydoğusunda yayılım göstermektedir.

Formasyon, genellikle kırmızı, kahve, beyaz, krem renkli, ince-orta-kalın tabakalanmalı killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, kireçtaşı ve marndan oluşur. Yer yer karbonatlı kumtaşı, çok az çakıltaşı ve kumtaşı içerir. Kireçtaşı ve killi kireçtaşı seviyeleri kırmızı-krem renkli, sert, mikritik dokulu, bol kalsit damarlı ve köşeli-keskin-kavkımsı kırıklı yer yer katmanlanıma paralel kartonsu dilingendir (Şekil 4.13). Pelajik fosilli Koyunhisar formasyonunun istifi çoğun altta kırmızı, üstte krem renkli kireçtaşı ile başlar. Birimin Bilecik kireçtaşından daha yaşlı formasyonlar üzerindeki istiflenmesi ise ince bir konglomeratik ve kumlu kireçtaşı seviyesi ile başlar ve üste doğru seyrek kumtaşı ile ardalanımlıdır (Genç, 1986).

Türbiditik kumtaşları olistostromal yapı göstermekte ve kayma yapıları sunmaktadır. Birimin oluştuğu çökel oramındaki hareketler sonucunda kıvrımlanmış ve yer yer kırılmıştır (Genç, 1986).

Alt dokanağı Bilecik kireçtaşı ile Avdancık formasyonu ve Permiyen kireçtaşı blokları üzerine uyumsuzlukla gelmektedir. Üst dokanağı Göktepe formasyonu ve Paşayayla formasyonu ile düşey ve yanal geçişlidir. Eosen ve Neojen yaşlı birimler ile uyumsuz olarak örtülür. Birimin kalınlığı yaklaşık 50-300 metre arasında değişmektedir. Birimin yaşı Genç (1986) tarafından Üst Kretase olarak belirlenmiştir. Birim, Bilecik kireçtaşının aşınma çukurluklarını doldurmuştur. Birimin içerdiği pelajik fauna derin denizi ve yer yer makro fosil (mercan) kapsayan kırıntılılar ise sığ denizi temsil etmektedir. İstifin derin ve sığ deniz ortamında çökelmiş olması derinleşen ve ilerleyen denizi işaret etmektedir. Terrijen malzemenin azlığı, laminalanma ve çapraz katmanlanmanın yokluğu düşük enerjili ortamı anlatır (Genç, 1986).



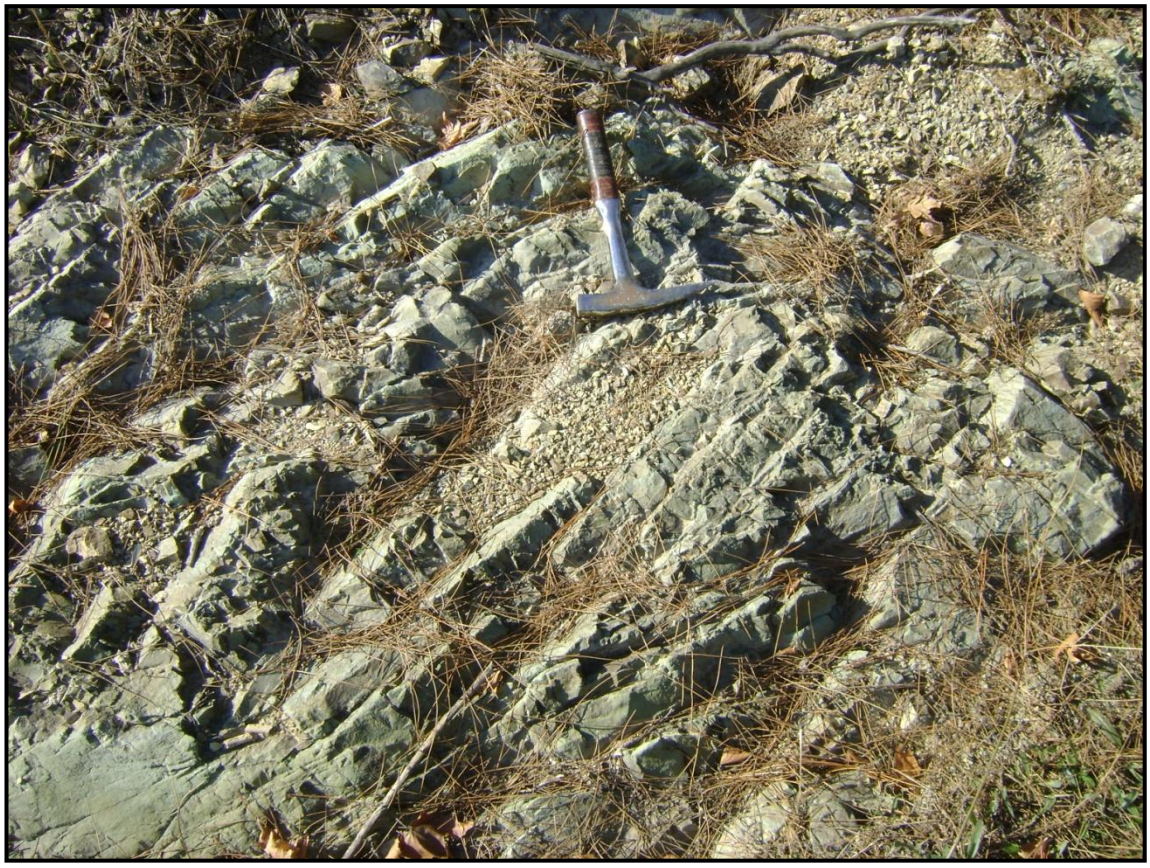
Şekil 4.13 Dışkaya köyü çevresinde gözlenen Koyunhisar formasyonu (Çekim yönü B)

4.2.11. Göktepe Formasyonu (Kg)

Birim, Genç (1986) tarafından ‘‘Göktepe Formasyonu’’ olarak adlanmıştır. Birim Koyunhisar köyü kuzeyinde Göktepe dolaylarında tipik mostralar vermesi nedeniyle buraya dayanılarak adlandırılmıştır. İnceleme alanında Kayacık, Ağlaşan ve Ericek köyleri dolaylarında yüzeylenmektedir.

Kahve-sarı-boz-yeşil renkli, orta-kalın tabakalı kumtaşı ve konglomera ile başlayan istif kiltaşı ve marn ile devam eder. Kumtaşı sarımsı gri, yeşilimsi renkli, ince-orta tabakalı, orta-sıkı tutturulmuş, volkanik elemanlı ve sağlam dayanımlıdır. Konglomeralar, orta tabakalı, kuvars, şist, çört çakıllı, karbonat çimentolu, orta-sıkı tutturulmuştur. Orta-Üst Jura ve Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşı blokları içerir (Bargu, 1982). Gevşek tutturulmuş konglomera ve kumtaşları yer yer çok ufalanarak tabakalanması belirsizleşir (Genç, 1986). Kiltaşı-marn seviyeleri, sarımsı yeşil renkli, ince-orta-kalın katmanlı, laminalı, kıymığımsı kırıklı, kolay ufalanmalıdır. Kiltaşı-marn seviyeleri içerisinde yer yer orta-kalın ve düzgün katmanlı, daha sert ve dayanımlı siltli, kumlu ve karbonatlı düzeyler bulunur (Şenyuva, 1991) (Şekil 4.14 ve Şekil 4.15).

Alt dokanağı Koyunhisar formasyonu ile geçişli, Avdancık formasyonu ile uyumsuzdur. Üst dokanağı Paşayayla formasyonu ile geçişlidir. Birimin kalınlığı 40-250 metre arasında değişmektedir. Thalmanninella, Ticinella, Praeglabotocıncana mikro fosillerine göre (Genç, 1986) birimin yaşı Üst Kretase'dir. Birimin içerdiği litolojiler derinliği değişen, tektonik aktivitesi yüksek ortamda çökelmiş olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.14 Ağlaşan köy yolu üzerinde gözlenen Göktepe formasyonu (Çekim yönü KB)



Şekil 4.15 Ağlaşan köy yolu üzerinde gözlenen Göktepe formasyonu (Çekim yönü KB)

4.2.12. Paşayayla Formasyonu (Kp)

İlk kez Genç (1986) tarafından ‘‘Paşayayla Formasyonu’’ olarak adlandırılan birim adını Paşayayla köyünden almıştır. İnceleme alanının kuzeydoğusunda Paşayayla, Gölcük, Fındıcak köyleri ve çevresinde geniş alanlarda yayılım göstermektedir.

Boz, kahve, krem, yeşil renkli, ince-orta-kalın tabakalı, çakıltaşı, kumtaşı, kireçtaşı, marn, kiltaşı, tüf, silttaşı, çamurtaşı ardalanımından oluşur. Yer yer kumtaşı, marn, kiltaşı seviyelerin hakim olduğu birimde, tüf ara katkıları ve Orta-Üst Jura ve Üst Jura-Alt Kretase yaşlı çok miktarda Bilecik kireçtaşı blokları gözlenir (Bargu, 1982). Kalın düzgün tabakalanmalı, açık yeşil renkli volkanik tüf seviyeleri ekonomik olup işletilmektedir. Çamurtaşı seviyeleri içinde, gevrek tutturulmuş çakıltaşı ve kumtaşları ile sert, karbonat çimentolu kumtaşları gözlenir. Birim çok seyrek de olsa, kırmızı, krem renkli, ince-orta tabakalı kireçtaşları içermektedir (MTA, 2009) (Şekil 4.16).

Alt dokanağı, Koyunhisar formasyonu ile geçişlidir; üzerine ise Eğerce formasyonu geçişli olarak gelmektedir. Üst Kretase yaşındadır (Genç, 1986). Birim zaman zaman derinliği değişen denizde, tektonik ve volkanik aktivitenin etkin olduğu ortamda çökelmiştir.



Şekil 4.16 Kayacık köyünde gözlenen Paşayayla formasyonu (Çekim yönü KB)

4.2.13. Eğerce Formasyonu (Ke)

Birim ilk kez Genç (1986) tarafından ‘‘Eğerce Formasyonu’’ olarak adlanmıştır. Birim adını Yenişehir ilçesi Eğerce köyünden almaktadır. İnceleme alanında Gündoğdu köyünün kuzeybatısında ve Avdancık köyünün batısında yüzlekler vermektedir.

Genellikle kahve, boz, krem renkli, orta-kalın tabakalı, karbonatlı kumtaşı, kumlu kireçtaşı, killi kireçtaşı, kireçtaşı, çakıltaşı ve kiltaşından oluşmaktadır. Karbonatlı kumtaşı daha yaygındır. Bazen marn-şeyl ardalanması ve sarımsı kahve renkli, bol makro ve mikro fosilli, kalın tabakalı kumtaşı ile resifal kireçtaşlarından oluşan bir istiflenme sunar. Yer yer kalın tabakalı, kahve-boz renkli karbonat çimentolu, köşeli,

kötü boylanmalı, makro fosilli çakıltaşlarıyla başlar. Tane boyu ufalarak, karbonatlı kumtaşı ve kumlu kireçtaşı ile kireçtaşına geçer (MTA, 2009) (Şekil 4.17).

Alt dokanağı Paşayayla formasyonu ile geçişli, üst dokanağı da Paleosen yaşlı Güneytepe formasyonu ile geçişlidir. Alt Triyas yaşlı Avdancık formasyonu üzerine uyumsuzlukla gelmektedir. Üst Kretase (Maastrihtiyen)-Alt Paleosen yaşındadır (Genç, 1986). Birimin gittikçe sığlaşan denizde çökeldiği düşünülebilir.



Şekil 4.17 Gündoğdu köyünde gözlenen Eğerce formasyonu (Çekim yönü K)

4.2.14. Güneytepe Formasyonu (Tpg)

İlk kez Genç (1986) tarafından Güneytepe formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim adını Fevziye köyü kuzeydoğusunda Güney tepeden almıştır. Güneytepe formasyonu, Gündoğdu köyü kuzeybatısında ve Seçköy kuzeyinde bulunur.

Güneytepe formasyonu resifal kireçtaşı ile karasal konglomeralardan oluşur. Kireçtaşları koyu gri, krem, beyaz renkli, orta-kalın tabakalı, ince dokulu, sıkı, sert, kalıpsı, dilingen, yer yer kıvrımlı, bol fosilli, köşeli kırıklıdır (Şekil 4.18). Taban

seviyelerinde, kumlu kireçtaşı, killi kireçtaşı, karbonatlı kumtaşı ve çakıllı kireçtaşı daha yaygındır. Kireçtaşı üzerine bazen kırmızımsı kahve renkli gevşek tutturulmuş, belirsiz tabakalı ve yuvarlak çakıllı karasal konglomeralar gelir (Genç, 1986).

Alt dokanağı Eğerce formasyonu ile geçişli, üst dokanağı ise Eosen yaşlı volkanitlerle uyumsuzdur. Birimin kalınlığı Gündoğdu köyünün kuzeyinde yaklaşık 60 m kadardır, ancak diğer yerlerde 10-15 m arasında değişir. Formasyonun yaşı içerdiği mercan, bryzoa ve alglere göre Alt Paleosen'dir (Genç, 1986). Güneytepe formasyonu, Üst Kretase sonlarında denizin sığlaşmasıyla resifal özellikler göstererek çökelmiş, ayrıca killi kireçtaşı seviyelerinin bulunması denizin göreli olarak şelf ve havzaya geçiş kuşağında çökelmiş olduğunu gösterir (Genç, 1986).



Şekil 4.18 Gündoğdu köyü Çiftekaya tepe çevresinde gözlenen Güneytepe formasyonu (Çekim yönü KD)

4.2.15. Çanakpınar Bazaltı (Teç)

Genç (1986) tarafından ''Çanakpınar Bazaltı'' olarak en iyi gözlendiği Fındıcak köyü kuzeyinde bulunan Çanakpınar tepesinden adlanmıştır. Birim Karabalçık köyü dolaylarında, Gündoğdu ve Seçköy köylerinin kuzeyinde yüzeylenmektedir.

Çanakpınar bazaltı koyu boz, kırmızı, siyah, kahve renkli bazaltik lavlardan oluşmaktadır. Bazaltik lavlar, sert, köşeli kırılmalı sık eklemli ve gaz boşlukludur. Üzerine geldiği birimde pişme meydana gelmiştir (Genç, 1986) (Şekil 4.19).

Kayacın dokusu pilotaksilitik, mikrolitikporfirik ve intragranülerdir. Gaz boşluklu bazaltik lavların fenokristalleri plajiyoklas ile mafik minerallerdir. Plajiyoklas fenokristalleri kısmen sasuritleşmiş, mikrolit ve kristalit boyutlu, aralarında piroksen ve kloritler bulunan andezin ve labradorlardır. Hamur ofitik dokuda olup, mikrolitler yer yer yönlenmiştir. Mafik mineraller ise otomorf piroksen (ojit), lamprobolit (bazaltik hornblend), demirce zengin küçük taneli opak mineraller ve kloritleşmiş biyotitlerdir (Genç, 1986).

Çanakpınar bazaltı, Sarıkaya formasyonu ile örtülür. Birimin kalınlığı volkanizmanın meydana geldiği dönemdeki paleotopoğrafyaya bağlı olarak değişmektedir, yaklaşık olarak 200 metre kadardır. Birim Genç (1986)'in çalışmasına göre harita alanı dışında bulunan İpresiyen yaşlı Fındıcak formasyonunu kesmesi ve üzerinde bulunması; Lütesiyen yaşlı formasyonlar tarafından örtülmüş olması nedeniyle İpresiyen sonrası Lütesiyen başı olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.19 Karabalçık köyünde gözlenen Çanakpınar bazaltı (Çekim yönü KB)

4.2.16. Sarıkaya Formasyonu (Tes)

Birim, Genç (1986) tarafından ‘‘Sarıkaya Formasyonu’’ olarak adlandırılmıştır. Birim en iyi gözlendiği yer olan Sarıkaya tepesinden adını almıştır. İnceleme alanında Şükriye ve Fevziye köylerinin güneyinde tipik yüzlekler vermektedir.

Formasyonun taban seviyeleri konglomera, çamurtaşı, kumtaşı ve kireçtaşı gibi kaya türlerinden oluşur. Konglomeralar tane destekli, köşeli kuvars çakıllıdır. Çamurtaşları kuvars taneli, karbonatlı çamurtaşı niteliğindedir. Kireçtaşları ise, kuvars taneli, kırıntılı istif taşından oluşmaktadır. Taban seviyelerinin üzerinde ince ya da kaba taneli, yeşilimsi tüf ve çeşitli boyutta andezitik tüfler gözlenir (MTA, 2009).

Sarıkaya formasyonu Çanakpınar bazaltı üzerine gelmekte, üzerine gelen Dürdane formasyonu tarafından uyumlu olarak örtülmektedir. Birimin kalınlığı yaklaşık olarak 200 metre kadardır. Fosil içermeyen birimin yaşı Genç (1986) tarafından stratigrafik konumuna göre İpresiyen-Lütesiyen olarak kabul edilmiştir. Birim, sığ denizel ortamda çökelmiştir.

4.2.17. Dürdane Formasyonu (Ted)

Birim, Genç (1986) tarafından ‘‘Dürdane Formasyonu’’ olarak adlandırılmıştır. Birim, en iyi gözlendiği Dürdane köyünden adını almıştır ve çalışma alanında da birim bu köy ve çevresinde gözlenmektedir.

Koyu kırmızı, kahve, mor, boz, yeşil renkli, orta-kalın düzgün tabakalı, volkanik elemanlı konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ve killi kireçtaşından oluşmaktadır. Konglomera düzeyleri volkanik çakıllı olup, ara katkılı, sert ve kötü boylanmalıdır. Kumtaşı, kahverengi, yeşilimsi sarı, kalın-orta, çapraz katmanlıdır. Kumtaşları yer yer çakıltaşı ara tabakalı, sert, çamurtaşı ile ardalanmalıdır. Çamurtaşı üzerine geldiği kesimlerde oygu ve dolgu yapıları görülmektedir. Üste doğru merceksel kireçtaşı ve kumlu kireçtaşı gözlenir; yer yer tüf-lav ara katkıları ve aglomera seviyeleri içerir (Genç, 1986) (Şekil 4.20).

Dürdane formasyonunun alt dokanağı volkanitler ve Sarıkaya formasyonu ile uyumlu, üst dokanağı Kayacıkçayırı formasyonu ile geçişlidir. Birimin kalınlığı 50-400 metre

arasında değişir (Genç, 1986). Birimin yaşı Genç (1986)'e göre Lütesiyen olarak belirlenmiştir. Birim, sığ denizde ani akarsu taşmaları ile oluşmuş delta çökelleri olarak yorumlanabilir (Şenyuva, 1991).



Şekil 4.20 Dürdane köyü çevresinde gözlenen Dürdane formasyonu (Çekim yönü K)

4.2.18. Kayacıkçayırı Formasyonu (Tek)

Birim, ilk kez Genç (1986) tarafından ''Kayacıkçayırı Formasyonu'' olarak adlandırılmıştır. İnceleme alanının kuzeyinde Dürdane köyü dolaylarında yüzlekler vermektedir.

Beyaz-krem sarı renkli, orta-kalın tabakalı, köşeli kırıklı, makro ve mikro fosilli kireçtaşı, kumlu kireçtaşından oluşur. Çoğunlukla kumlu kireçtaşı olarak izlenen birim

sert, yer yer kıvrımlı, düzgün, yanal devamlı tabakalıdır. Bazı yerlerde metamorfik temel üzerine tüf matriksli, şist, mermer, kireçtaşı çakıllı aglomera ile gelmektedir (MTA, 2009).

Alt dokanağı Dürdane formasyonu üzerine uyumlu olarak gelir. Üst dokanağı Köprühisar formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülür. Birimin kalınlığı doğu-batı yönünde fazla değişmemekte ve yaklaşık 5-30 metre arasında değişir. Birimin yaşı Textularidae, Miliolidae, Alg, Bryozao gibi fosillere dayanılarak Orta-Üst Lütesiyen'dir (Genç, 1986). Birim resif ortamında, sığ denizde çökelmiştir.

4.2.19. Granitoyidler (Tgr)

İnceleme alanındaki en büyük granitoyid olan Uludağ Granitoyidi, Uludağ masifinin iç kesiminde yaklaşık kuzeybatı-güneydoğu yönünde uzanan büyük ekseni 14 km, küçük ekseni 7 km olan elips şeklinde bir plutondur (Ketin, 1947). Doğusunda ve Iğdır köyü kuzeyinde aynı türde ve daha küçük iki pluton daha bulunmaktadır.

Plutonlar koyu gri, açık gri, kahve, grimsi beyaz renkli, bol kuvarslı ve mikalı, özellikle kenar zonları çok eklemli ve yer yer çok ayrışmış olan granodiyorit ve granitten oluşmaktadır (Şekil 4.21 ve 4.22). Petrografik olarak granodiyorit bileşimli olan kuvars, albit bileşimli plajioklas, pertitik feldispat, biyotit, muskovit ve zirkon, titanit, apatit, allanit ve monazit gibi aksesuar minerallerden oluşmaktadır (Bürküt, 1966; İnan, 1979; Öztunalı, 1973; Yurdagül, 2004). Uludağ Granitoyidi kayaçları orta-yüksek potasyumlu, kalk alkalin, kalsik, düşük peralümino karakterli, kabuksal kökenli özellik sergiler (Yurdagül, 2004).

Uludağ Granitoyidi ilk defa Ketin (1947) tarafından detaylı çalışılmış ve dokusal özellikleri dikkate alınarak çekirdek ve kenar graniti olmak üzere iki bölüme ayırmıştır. Ketin (1947) kenar granitinin çekirdek granitine göre orta ve iri taneli (tane büyüklüğü 3-4 mm.) kuvars ve ortoklası çok, biotiti daha az, damar ve çatlakları fazla olduğunu belirtmiş; kenar granitini lökogranit, çekirdek granitini ise granodiyorit olarak sınıflamıştır. Ayrıca kenar ve çekirdek graniti arasında net bir iç kontak bulunmadığı ancak çekirdek granitinin kenar granitini kesmiş olabileceği görüşünü belirtmiştir.

İnan (1979)'ın yapmış olduğu analizlerin sonucunda plutonun kenar zonunun biraz daha asidik ve çekirdek zonunu ise daha bazik granodiyorit olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Granitoyidlerin kontak zonlarında metamorfizma izleri gözlenir. Granitoyidler yerleşim ve yükselim sırasında yan kayaçları anklav olarak almıştır. Bazı yerlerde soğan yapılı, koyu gri renkli, kırıklı, sert ve kuvars damarları ile kesilmiş halde görülür. Çatlaklar hidrotermal çözeltilerle dolmuştur. Kayaçta sosuritleşme, kloritleşme ve karbonatlaşma bulunmaktadır. Yer yer pegmatit, granit porfirler ve aplit daykları tarafından kesilmiştir (MTA, 2009).

Granitoyidler etrafını çevreleyen kayaçlar içerisine sokulmuşlardır. Mermerlerle olan dokanaklarında termal metamorfizma ve pnömatolitik çözüntülerin etkisiyle aktinolit, epidot, klorit, vollastonit, granat, turmalin, fluorit, pirotin, magnezit, bursait ve şeelit içeren skarn zonu bulunmaktadır (Bürküt, 1966; Öztunalı, 1973). Birime bölgede çalışmalar yapan çeşitli araştırmacılar farklı yaşlar vermişlerdir. Okay ve diğ. (2008)'ne göre Uludağ ve çevresinde yüzeyleyen derinlik mağmatik kayalar Oligo-Miyosen yaşındadır. Sokulum kütlesinin Hersiniyen orojenezi ile ilişkili olduğunu düşünenlere (Philippson, 1913; Wijkerlooth, 1941; Erk, 1942; Ketin, 1947; Van der Kaaden, 1958; Öztunalı, 1973) karşı, (Ronner, 1954; Sağıroğlu, 1953; Sağıroğlu ve Bürküt 1966; Bingöl ve diğ. 1982; Delaloye ve Bingöl, 2000) sokulumu daha sonraki Alpin orojenezi ile ilişkilendirmektedirler.



Şekil 4.21 Uludağ Milli Parkı'nda gözlenen granitoyid (Çekim yönü KD)



Şekil 4.22 Bakacak Tepe'de gözlenen granitoyid (Çekim yönü B)

4.2.20. Köprühisar Formasyonu (Tmk)

Birim, Genç (1986) tarafından Köprühisar köyü dolaylarında birimin özelliklerinin iyi gözlenmesi nedeniyle ‘‘Köprühisar Formasyonu’’ olarak adlandırılmıştır. Formasyon, çalışma alanında Seçköy köyü çevresinde tipik yüzlekler vermektedir.

Birim genellikle konglomera-kumtaşı ile killi-kumlu kireçtaşı, çamurtaşı ve marndan oluşmaktadır. Bu kaya türleri yanal ve düşey yönde birbirleriyle geçişlidir. Formasyonun hakim kaya türü konglomera ve kumtaşıdır. Konglomera-kumtaşı seviyeleri genel olarak boz-kahve-kirli sarı, sarı-kırmızımsı renkli, kalın tabakalı, gevşek, yer yer orta tutturulmuş, bazen dağılgan, kaba taneli, kötü boylanmalıdır. Konglomeralar, genellikle kuvars, volkanik, daha az metamorfit, mermer çakıllı, orta-kötü boylanmalı, az yuvarlak-küt köşeli, genellikle iri çakıllı, kum matriksli, karbonat çimentoludur. Birim içinde yer yer tabanı aşındırmalı akarsu kanal çökelleri izlenir. Kanal dolguları kaba elemanlı, orta-bazen sıkı tutturulmuştur. Birim içinde ara düzey şeklinde açık yeşilimsi beyaz, sarımsı beyaz renkli, çok gevşek tutturulmuş, çok zayıf dayanımlı silttaşı-kiltaşı düzeyleri de gözlenir. Çamurtaşı, kızıl, kırmızı renkli, kalın tabakalı, gevşek tutturulmuş, dağılgandır. Marn, kirli beyaz renkli, tabakalanma belirsiz, kavkılı ve zayıf dayanımlıdır. Kireçtaşları, beyaz, krem renkli, gastropod fosilli, orta-kalın, düzgün tabakalıdır (MTA, 2009).

Alt dokanağı Miyosen öncesi birimleri uyumsuzlukla örter, üst dokanağı Mudanya formasyonu tarafından uyumlu örtülür. Birimin yaklaşık kalınlığı 300-600 metre kadardır. Orta-Üst Miyosen yaşındadır (Genç, 1986). Birimin sığ, duraylı ve sakin ortamlarda çökelmiş olabileceği yorumlanabilir.

4.2.21. Mudanya Formasyonu (Tmm)

Birim, Görmüş ve diğ. (1997) tarafından Mudanya formasyonu olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanının kuzeyinde ve batısında geniş alanlarda yüzlekler vermektedir.

Birim konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltaşı, marn ve kireçtaşından oluşmaktadır. Formasyonu oluşturan bu kaya türleri yanal ve düşey yönde birbirleriyle geçişlidir. Yersel çökel farklılığı sunan birim, konglomera-kumtaşı ardalanması, kumtaşı-çamurtaşı-silttaşı ara tabakalı konglomera, çakıltaşı-kiltaşı-kireçtaşı, kumtaşı-kiltaşı-

marn ardalanması ve silttaşı-kiltaşı ara tabakalı kireçtaşından oluşan bir istiflenme göstermektedir. Konglomera seviyeleri, genellikle sarımsı gri, açık kahve renkli, gevşek tutturulmuş, kötü boylanmalı, köşeli, yarı köşeli, yuvarlak, bazalt, kireçtaşı, metamorfit çakıllı ve zayıf dayanımlıdır. Kumtaşları, sarımsı gri, yeşilimsi gri, kahve renkli, köşeli-yarı yuvarlak, kaba-orta taneli, kötü boylanmalı, bazen karbonat çimentolu, yer yer düzlemsel çapraz tabakalı, gevşek tutturulmuş, dağılgan ve zayıf dayanımlıdır. Silttaşları, gri, sarımsı gri renkli, ince-orta tabakalı, yer yer mikalı, zayıf dayanımlıdır. Kiltaşları, yeşilimsi, açık kahve renkli, laminalı, ince-orta tabakalı, gevşek tutturulmuş, dağılgan, çok zayıf-zayıf dayanımlıdır (Şekil 4.23). Formasyon, Nilüfer çayı vadisi boyunca, genellikle kiltaşı, marn ve kireçtaşı ardalanmalıdır. Kireçtaşları, açık gri, beyazımsı gri renkli, ince-orta tabakalı, yer yer silisifiye, bazen karbonat çamuru yığışımı halinde, gözenekli, orta tutturulmuş, yer yer sıkı tutturulmuştur (MTA, 2009).

Mudanya formasyonu kendisinden daha genç ve yaşlı birimlerle uyumludur. Birimin yaklaşık kalınlığı 50-300 metre kadardır. Formasyon, Görmüş ve diğ. (1997)'ne göre Geç Miyosen, Emre ve diğ. (1997)'ne göre ise Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaşındadır. Birimin, akarsu ve gölsel ortamda çökelmiş olabileceği yorumlanabilir.



Şekil 4.23 Gündoğdu köy yolu üzerinde gözlenen Mudanya formasyonu (Çekim yönü KB)

4.2.22. Karacaoba Formasyonu (Tmka)

MTA (2009) tarafından Karacaoba formasyonu olarak bahsedilen birim, inceleme alanının güneybatısında bulunan Çekirge semti, İnkaya ve Yiğitali köyünün çevresinde gözlenmektedir.

Volkanik kumtaşı, konglomera, tüf ve aglomeralardan oluşur. Volkanik kumtaşları, orta-kalın kötü tabakalı, sıkı tutturulmuş, yer yer seyrek çakıllı ve orta sağlam dayanımlıdır. Tüfler, gevşek-orta tutturulmuş, orta kalın tabakalı, yer yer kötü tabakalı, eklemli, orta sağlam-zayıf dayanımlıdır. Ara seviyeler halinde izlenen konglomeralar, orta-gevşek tutturulmuştur. Aglomeralar, çeşitli boyutta andezitik çakıllı, tüfle orta tutturulmuş, belirgin tabakalıdır. Sarımsı, beyazımsı, bej, yeşilimsi renkli, tüf ara seviyeleri içerir (MTA, 2009) (Şekil 4.24 ve 4.25).

Birimin alt dokanağı Mudanya formasyonunu uyumlu örter. Birim, stratigrafik konumuna göre Pliyosen yaşlıdır. Birim volkanik etkinliğin yoğun olduğu ortamda oluşmuş olmalıdır.



Şekil 4.24 Uludağ yolu üzerinde gözlenen Karacaoba formasyonu (Çekim yönü KD)



Şekil 4.25 Uludağ yolu üzerinde gözlenen Karacaoba formasyonu (Çekim yönü KD)

4.2.23. Traverten (Qtr)

İnceleme alanının güneybatısında Çekirge bölgesinde, Kükürtlü grubu sıcak su kaynakları çevresinde ve İnkaya köyü güney ve batısında travertenler yüzeylenmektedir.

Kükürtlü grubu sıcak su kaynakları çevresinde oluşmuş olan travertenler sarı, bej renkli, sıkı dokulu ve az boşluklu, çoğu kez aragonit kristalleşmeleri halindedir (Şekil 4.26). Travertenler genellikle kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu ve dike yakın eğimde çatlaklara sahiptir. Çekirge ve Muradiye bölgesinde sarı, krem renkli, gevşek, çok boşluklu ve boşlukları borusal tipte ve bağlantılıdır (Erişen ve Öngür, 1976).

Travertenler, Bursa Ovası'ndan yaklaşık 100 m yükseklikte bir seki oluşturmuşlardır. Travertenlerin kalınlığı yaklaşık 100 m kadardır. Kuvaterner başında çok sıcak, ılık ve soğuk suların kalsiyum karbonat çökeltmesi ile meydana gelmişlerdir. Güncel olarak Karaoğlan dere vadisinde traverten oluşumu gözlenmektedir. Sıcak silisli suların çökelleri olan sinterler fay çizgileri boyunca yüzeylenmektedir (Erişen ve Öngür, 1976).



Şekil 4.26 Altıparmak Caddesi üzerinde gözlenen traverten (Çekim yönü GD)

4.2.24. Yamaç Molozu (Qym)

İnceleme alanında yamaç molozu Uludağ masifinin kuzey eteklerinde Değirmelikızık ve Fidyekızık köyleri civarında yer almaktadır. Uludağ'dan inen derelerin taşıdığı iri blok, moloz ve çakıl malzemesinden oluşmuştur. Ovanın güneyinde bulunan faylar malzeme gelişinde ve depolanmasında etkili olmuştur.

Tutturulmamış, gevşek tutturulmuş, köşeli, küt köşeli, genellikle blok, çakıl ve kum yığışımlarından oluşur. Toprak ara katkıları içerir (Şekil 4.27). Yamaç molozunun yaklaşık kalınlığı 100 m kadardır (Şenyuva, 1991).

4.2.25. Akarsu Yelpazesi Çökelleri (Qay)

Akarsu yelpazesi çökelleri ova alanının güneyinde kuzeyine göre daha geniş alanlarda bulunmaktadır. İnceleme alanında Gökdere, Kaplıkaya dere ve Kocabalık derelerinin mansap taraflarında geniş yüzlekler vermektedir.

Akarsu yelpaze çökelleri tutturulmamış, bazen gevşek tutturulmuş, birbiri ile geçişli, kötü boylanmalı, siltli, killi, az yuvarlak, blok, çakıl ve kumdan oluşur. Akarsu yelpaze çökellerinin yaklaşık kalınlıkları 15-20 m kadardır (Şenyuva, 1991).



Şekil 4.27 Fidyekızık köyü çevresinde gözlenen yamaç molozu (Çekim yönü KD)

4.2.26. Alüvyon (Qal)

Çalışma alanında alüvyon, akarsuların ve derelerin vadi tabanları ile ovanın tabanında gözlenen, tutturulmamış, çakıl, kum, silt ve kil boyutunda malzemeden oluşur.

Bursa Ovası'nın kuzeyinde alüvyon silt, kil ve kum istiflenmesinden oluşurken diğer alanlarda kil, silt, kum ve çakıl ardalanması mevcuttur. Bursa Ovası'nın orta ve doğu kesiminde alüvyonun kalınlığı 140-200 m, kuzeyinde yaklaşık 100 m, batısı ve kuzeybatısında ise 150-200 m kadardır (DSİ, 1973).

4.3. YAPISAL JEOLOJİ VE TEKTONİK

4.3.1. Faylar

4.3.1.1. Bursa Fayı

Bursa Fayı, ilk defa Bargu ve diğ. (2000) tarafından adlanmıştır. Çekirge burnu (Bursa) ile İnegöl havzası arasında yaklaşık 40 km boyunca uzanır. Uludağ ile Bursa Ovası'nı sınırlayan fay, kavisli bir şekilde Uludağ'ın kuzey kenarını kontrol eder. Genel doğrultusu KB-GD'dur. Bursa Fayı, düşük açılı kuzeye eğimli normal bir faydır. En batıda Çekirge burnunda Paleozoyik yaşlı Uludağ metamorfitleri ile Kuvaterner yaşlı çökeller arasında yer alan fay, doğuya doğru Uludağ metamorfitleri ile Triyas yaşlı Nilüfer formasyonu arasındaki dokanağı takip eder. Fay dikliğinin önünde ise iri blok ve çakıllardan oluşan yamaç molozu yığışımları yer almaktadır. Orta kesiminde tek bir çizgi halinde olan fay, doğu ve batı uçlarında zonal ve parçalı bir yapıya sahiptir. Fayı geometrik olarak iki segmente ayırmak mümkündür (MTA, 2009).

Batı segmenti Çekirge burnu ile Değirmenlikızık arasında yer alır. Güneye kavisli olan segment, doğu segmentten 45°'lik bir büklüm ile ayrılır. Bu bölümün doğrultusu K35B, uzunluğu 5,5 km'dir. Paleozoyik yaşlı Uludağ metamorfitleri ile Kuvaterner yaşlı travertenleri, yamaç molozu yığışımlarını ve birikinti konilerini sınırlar. Taban bloğu üzerinde fay façetaları oldukça belirgindir. Fayın önünde gelişen traverten sekisi, en eski birikinti konileri ve kolüviyal çökellerin tabakaları ve yüzeyleri ilksel eğimlerini kaybederek güneye doğru eğimlenmişlerdir. Bu segmentin önünde gelişmiş iki de sintetik fay vardır. Segmentin güneye kavisli uzanışına rağmen sintetik fayların doğrultusu K80B, uzunluğu 5 km'dir. Traverten sekisinin kuzey kenarını ve eski birikinti konilerinin kuzey kenarını kontrol eden fay, genç birikinti yelpazesini de kesmektedir. Traverten sekisi iki basamaklıdır ve yüksek sekinin dikliği ova tabanından yaklaşık 50 m yüksektedir. Sintetik fayın doğuya devamında yer alan Işıklar düzlüğü, yamaç molozu yığışımları üzerinde gelişmiştir. Düzlük, ova tabanı ile genç birikinti yelpazeleri arasında morfolojik uyumsuzluk gösterir. Ova tabanından yaklaşık 130 m'lik bir diklikle ayrılan düzlük, doğuda daralarak Kaplıkaya vadisine kadar devam etmektedir. Yapılan araştırmalar Bursa Fayı'nın Erken Kuvaterner'den günümüze kadar, oldukça aktif olduğunu ve günümüzde de etkinliğini koruduğunu göstermektedir (MTA, 2009).

4.3.1.2. Uludağ Fayı

Uludağ'ı güneyden sınırlayan fay, yaklaşık 22 km uzunluğundadır. Fayın uzanımı boyunca, kuzey bloğunda granodiyoritler, güney bloğunda ise Paleozoyik yaşlı Uludağ metamorfitleri karşı karşıya gelmektedir. Fay dikliği olarak yorumlanabilecek çizgisel uzanımlı yüksek yamaçlar ve jeolojik, jeomorfolojik özellikleri bakımından kolaylıkla seçilebilen fayın genel doğrultusu kuzeybatı-güneydoğudur. Fay, iki parçadan oluşmaktadır. Süleymaniye köyü ile Bağlı köyü kuzeydoğusu arasında kalan kuzeydeki parçası yaklaşık 7 km uzunluğundadır. Bağlı köyünün kuzeydoğusundan başlayıp, Uludağ'ın güney etekleri boyunca uzanan diğer bölümü ise yaklaşık 15 km uzunluğundadır. Uzanımı boyunca yamaçlarda eğim kırıklığı ve topografik boyunlarla tanınmaktadır. Uludağ Fayı güneye eğimli, sağ yanal oblik bir faydır. Fay boyunca, kuzey blok, güney bloğa göre yükselmiştir (MTA, 2009).

4.3.1.3. Barakfakı Fayı

Bu fay, ilk defa Emre ve diğ. (2009) tarafından Barakfakı Fayı adı verilerek haritalanmıştır. Bursa Ovası'nın kuzey kenarı boyunca, batıda Kazıklı kuzeyi ile doğuda Barakfakı köyleri arasında uzanır. Doğrultusu yaklaşık D-B olan fayın haritalanabilen kesimi yaklaşık 13 km kadardır. Fayın kuzey bloğu morfolojik olarak yukarıdadır. Bu nedenle fayın eğim atım bileşenli olduğu söylenebilir (MTA, 2009).

4.3.1.4. Çalışma alanındaki diğer faylar

Demirkapı Mahallesi'nde Kaynarca sıcak su grubu kaynaklarının sahasına kadar uzanan birbirine paralel ve birbirini diyagonal olarak kesen faylardan oluşmuştur.

Demirkapı Fayı: Demirkapı Mahallesi'nde bulunan fayın doğrultusu K20B, eğimi KD'dur. Mermerler arasında gelişmiş olan fayın çizgisi boyunca silis taşıyan sıcak suların çökelttiği sinterler, ayrıca milonitler, fay breşleri ve cilalı yüzeyler fay çizgisi boyunca yaygındır (Erişen ve Öngür, 1976).

Kükürtlü Fayı: Kükürtlü ve Muhittin Baba sıcak su kaynaklarının yüzeye gelmesini sağlayan K5-15B doğrultulu ve KD'ya eğimli bir faydır. Fay çizgisi travertenlerdeki çatlak doğrultuları ve sıcak su kaynaklarının durumuna bağlı olarak saptanmıştır (Erişen ve Öngür, 1976).

Muradiye Fayı: Metamorfik şistler ile mermerler arasında KB-GD doğrultulu ve KD eğimli bir faydır (Erişen ve Öngür, 1976).

Kaynarca-Karamustafa Fayı I: K40-70B doğrultulu ve KD eğimli fay topografyadaki kademelenme dikkate alınarak tespit edilmiştir ve fay Horhor sıcak su kaynağına doğru uzanmaktadır (Erişen ve Öngür, 1976).

Kaynarca-Karamustafa Fayı II: Kaynarca ve Karamustafa hamamları mevkisinde, bu kaynakların ve muhtemelen Mevlevi Şeyhi sıcak sularının yüzeye çıkmasını sağlayan bir faydır. Genel doğrultusu K-G'dir (Erişen ve Öngür, 1976).

Çekirge Fayı: Çekirge bölgesinde ve Neojen örtü içinde yüzeye çıkmaktadır. K20D-K65D arasında değişen doğrultulu ve KB'ya eğimli normal faydır. Fay çizgisi boyunca Çekirge grubu sıcak su kaynakları sıralanmıştır (Erişen ve Öngür, 1976).

Horhor Fayı: Horhor çeşme deposu alanında bulunan fay K30D doğrultulu ve KB'ya eğimlidir. Metamorfik temelle Tersiyer arasında oluşmuştur (Erişen ve Öngür, 1976).

İnkaya GD Fayı: Yaklaşık K15D doğrultulu ve KB eğimli olan fayın travertenlerdeki basamaklanmalara neden olduğu düşünülmektedir (Erişen ve Öngür, 1976).

İnkaya Fayı: Fay K30B doğrultulu ve KD'ya eğimli normal bir faydır. Nilüfer formasyonu ile Karacaoba formasyonunu yan yana getirmektedir (Erişen ve Öngür, 1976).

4.3.2. Bindirme

Uludağ grubunun batısında Nilüfer formasyonu Uludağ metamorfitlerinin üzerine bindirmiştir. Bindirmenin yaşı hakkında kesin bir veri bulunmamakla beraber Alpin veya daha yaşlı olabilir. Uludağ'ın yükseliminin günümüzde de devam etmesi ve bunun sonucunda meydana gelen aşınma nedeniyle Uludağ metamorfitleri tektonik pencere olarak yorumlanmıştır (Ketin, 1984).

İnceleme alanında Dışkaya köyü çevresinde Avdancık formasyonu ile Bilecik kireçtaşı ve Bilecik kireçtaşı ile Koyunhisar formasyonları arasında bindirme fayları gözlenmektedir.

4.3.3. Uyumsuzluklar

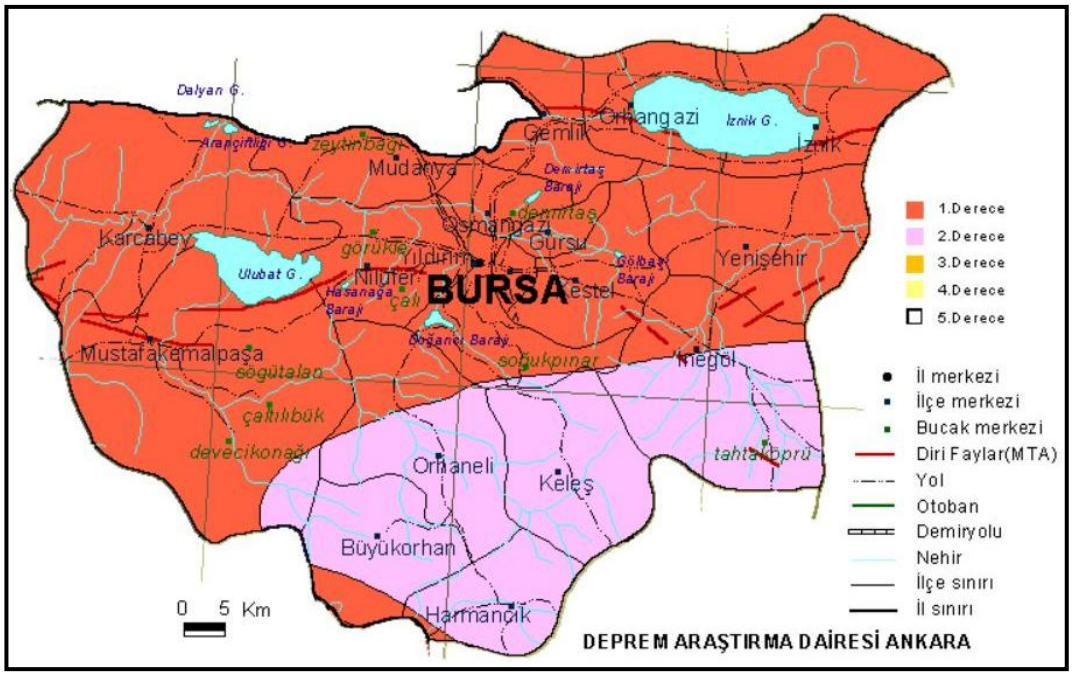
Bayırköy formasyonu Iğdır formasyonu üzerine, Üst Kretase yaşlı çökeller Bilecik kireçtaşı üzerine, Sarıkaya formasyonu Çanakpınar bazaltı üzerine, Köprühisar formasyonu granitoyid üzerine uyumsuzlukla gelmektedir. Traverten daha yaşlı birimleri uyumsuzlukla örtmekte; yamaç molozu, akarsu yelpazesi çökelleri ve alüvyon ise tüm birimler üzerine uyumsuz olarak gelmektedir.

4.3.4. Kıvrımlar

İnceleme alanının kuzeyinde Avdancık formasyonunda antiklinal eksenleri, Iğdır formasyonunda senklinal ekseni, Ağlaşan köyü yakınında Göktepe formasyonunda dalımları kuzeydoğu yönünde antiklinal ve senklinal eksenleri mevcuttur.

4.3.5. Depremsellik

Bursa ili 1. ve 2. derece deprem bölgesinde ve buna bağlı olarak deprem aktivitesinin yoğun gözlendiği bölgedir. Çalışma alanı ise 1. derece deprem bölgesinde yer almaktadır (Şekil 4.28). Bölgedeki sismik aktivite Kuzey Anadolu Fay Sistemi'nin (KAFS) güney kolu ile Güney Marmara Bölgesi'ndeki faylardan kaynaklanmaktadır. Çalışma alanı ve yakın çevresinde, KAFS içerisinde yer alan güney kolu; İznik-Mekece Fayı, Gemlik Fayı, Gençali Fayı, Zeytinbağı Fayı ve Gemlik Körfezi'nde deniz tabanında yer alan faylar oluşturmaktadır.

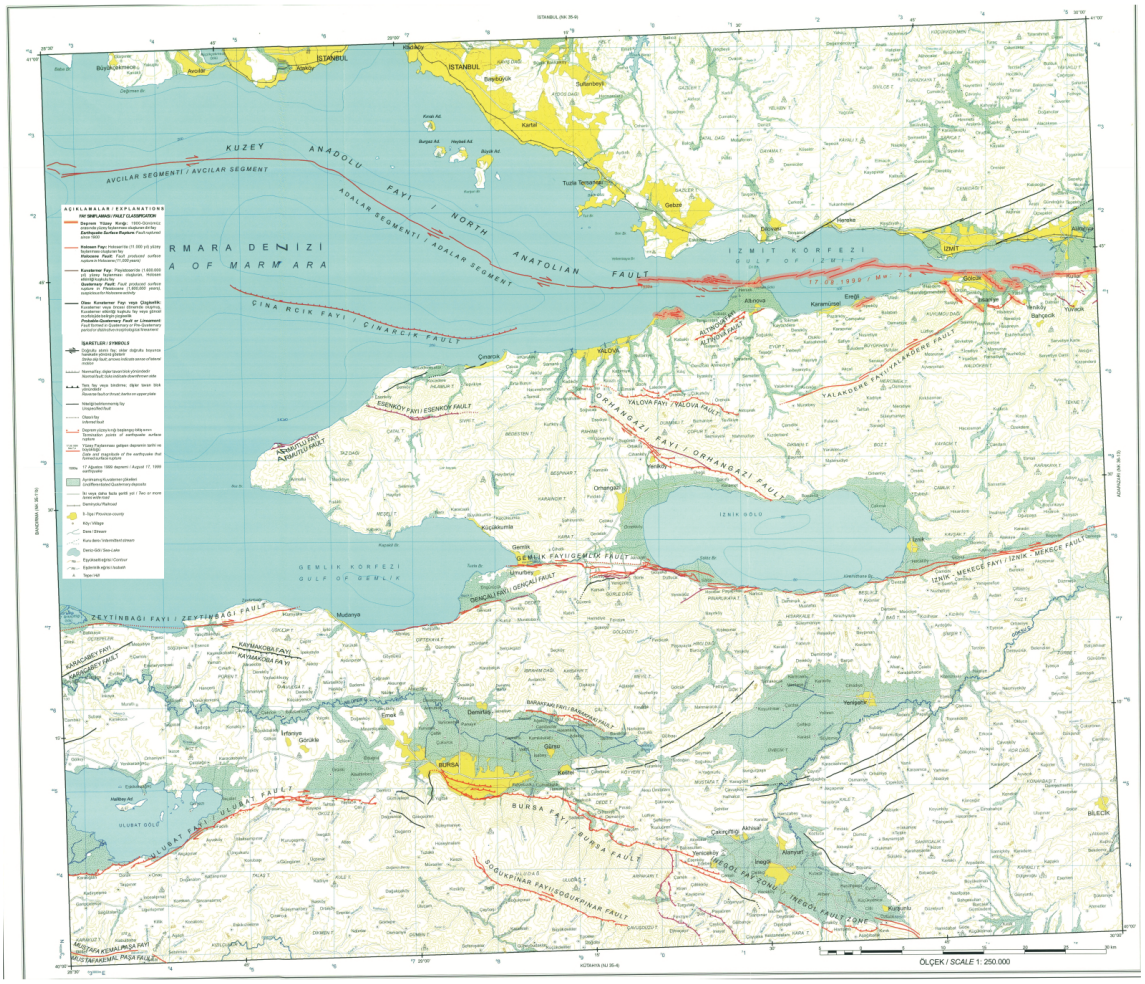


Şekil 4.28 Bursa ilinin depremsellik haritası (deprem.gov.tr)

Güney Marmara'daki diri faylar ise Eskişehir Fayı Sistemi'nin batıya devamı olan faylar ile Bursa-Gönen Havzası'nın oluşumunu denetleyen ve bu çöküntü alanının kenarlarında yer alan faylardır. Ayrıca bu çöküntü alanının güneyinde yer alan Uludağ yükselimi güneyinde ve bu dağ sırasının doğu ve batı devamında da diri faylar bulunmaktadır. Bursa ilinin güney kenarında yer alan faylar İnegöl Fay Zonu, Oylat Fayı, Bursa Fayı, Uluabat Fayı, Mustafakemalpaşa Fayı ve Manyas Fay Zonu; kuzey kenarında ise Barakfakı, Kaymakoba ve Karacabey fayları (Şekil 4.29) yer alır (Emre ve diğ., 2005; 2009). MTA (2011)'nın yaptığı çalışmada Bursa ve çevresindeki diri faylar 1/250 000 ölçekli haritada Şekil 4.30'daki gibi gösterilmiştir.

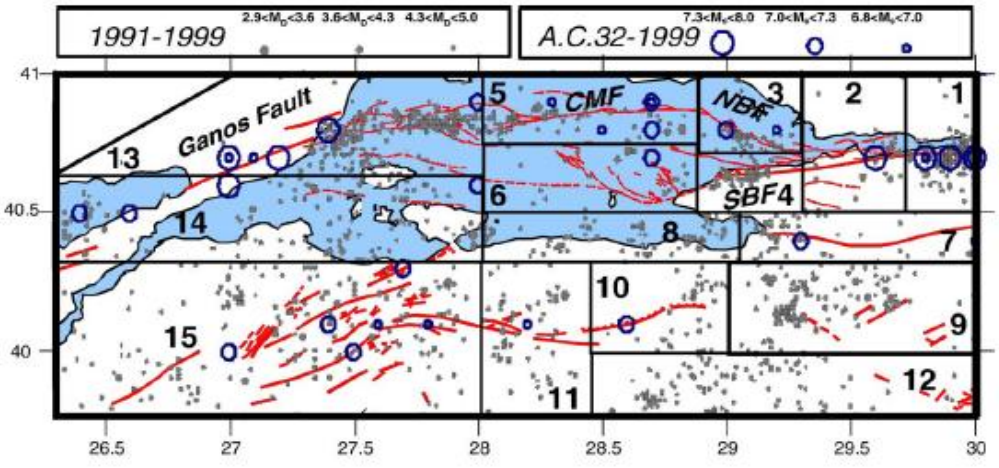


Şekil 4.29 Bursa ve çevresindeki aktif faylar (Selim ve diğ., 2006)

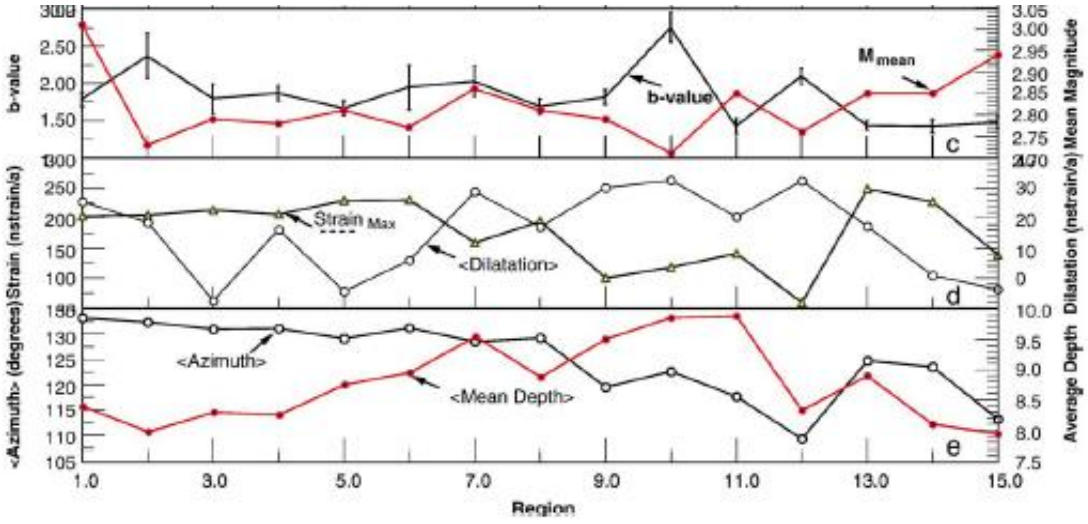


Şekil 4.30 Bursa ve çevresindeki aktif faylar (MTA, 2011)

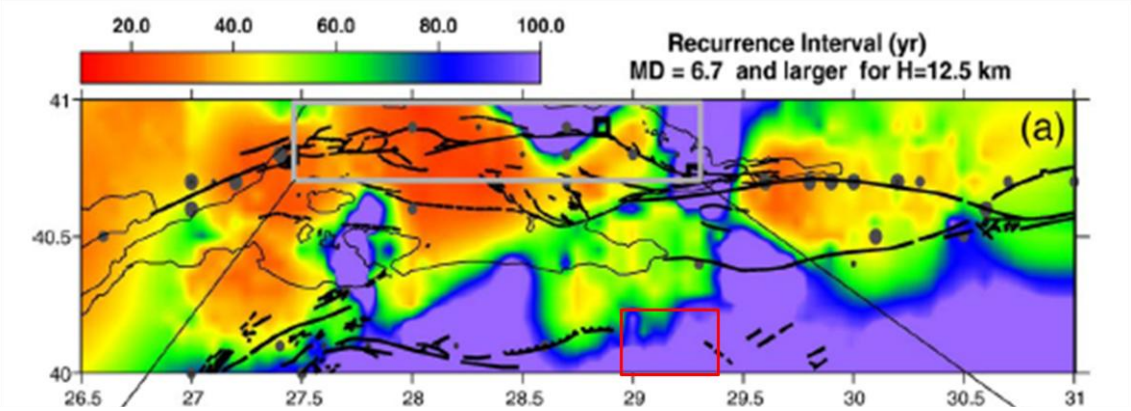
Öncel ve Wilson (2006)'ın çalışmasında Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde bulunan alan 15 sismik bölgeye ayrılmıştır. İnceleme alanı Şekil 4.31'de gösterilen 9 ve 10. bölgelerde yer almaktadır. Şekil 4.32'de gösterildiği gibi 10. bölgede tektonik gerilme düzeyi daha büyük ve deprem meydana getirecek gerilim daha yüksek, doğudan batıya doğru giderken deformasyon artmakta ve doğu alanda deprem derinlikleri daha fazladır. Şekil 4.33'te inceleme alanı kırmızı çerçeveyle belirtilmiş olup deprem tekrarlanma sıklığı yaklaşık 70 ile100 yıl arasındadır.



Şekil 4.31 Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde 15 bölgeye ayrılan sismik alan (Öncel ve Wilson, 2006)

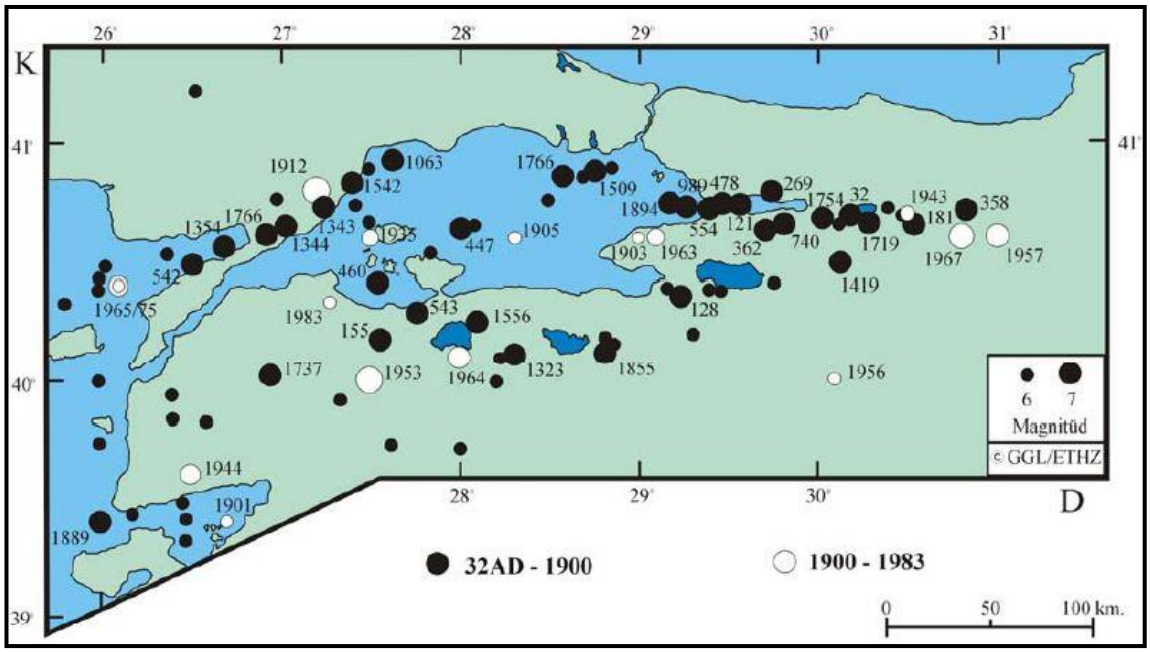


Şekil 4.32 Alanın tektonik gerilme, deformasyon ve deprem derinlikleri (Öncel ve Wilson, 2006)



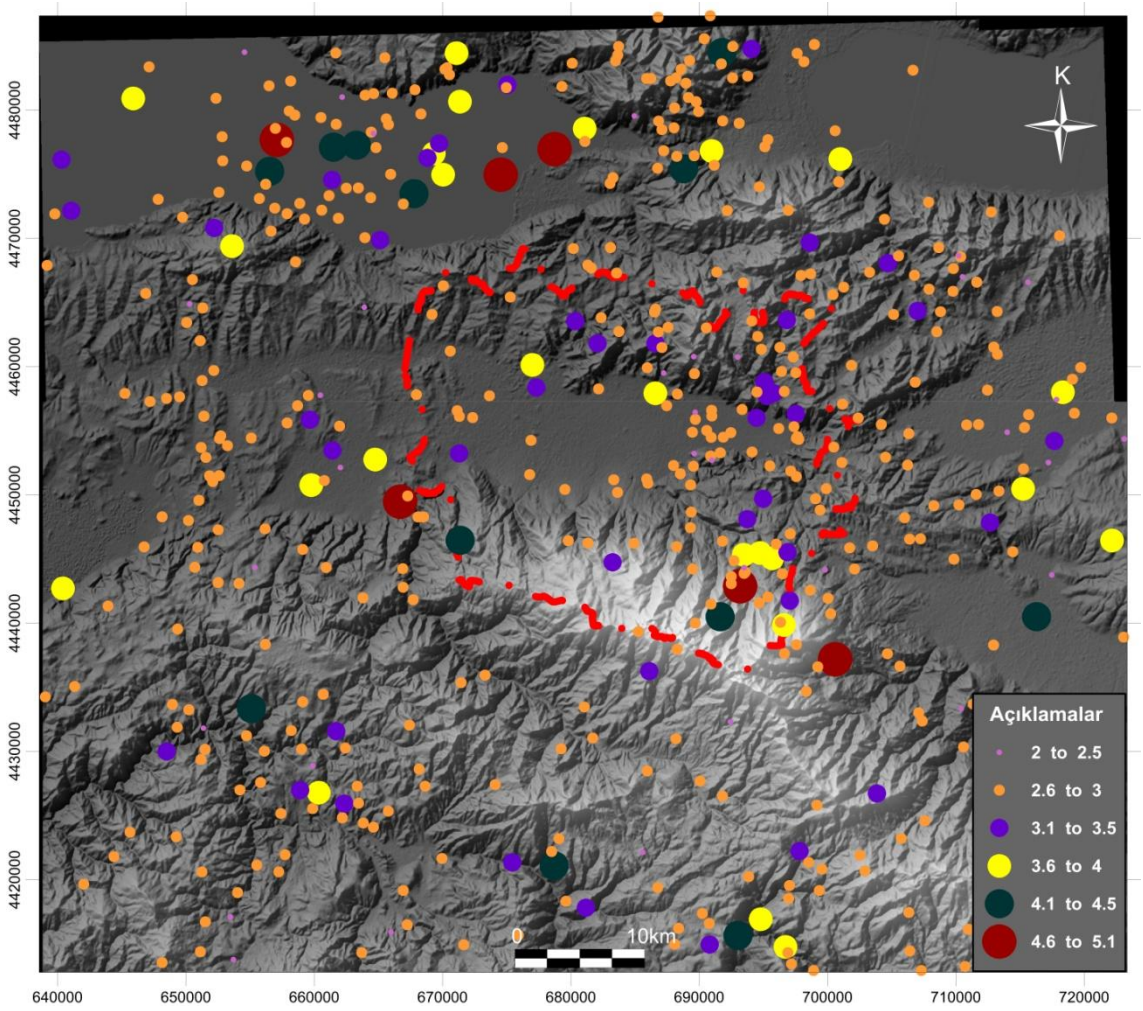
Şekil 4.33 Depremlerin tekrarlanma sıklığı (Öncel ve Wilson, 2006)

Bursa ili ve çevresinde tarihsel ve aletsel dönemde (Ambrassey ve Finkel, 1991) pek çok deprem meydana gelmiştir. Şekil 4.34'te meydana gelen depremlerin episantr dağılımları gösterilmektedir. 28 Şubat 1855'te meydana gelen büyük depremde 2000'den fazla insan yaşamını yitirmiştir (Soysal ve diğ., 1981).



Şekil 4.34 Güney Marmara Bölgesi'nde 32 AD – 1983 AD yılları arasında gözlenen M≥6 deprem aktivitesi (Ambraseys ve Finkel, 1991)

İnceleme alanı ve çevresinde 01.01.1970-01.01.2012 tarihleri arasında meydana gelen magnitüdü M ≥ 2 depremler incelendiğinde, Kuzey Anadolu Fay Sistemi ile Güney Marmara Bölgesi'ndeki aktif faylarla uyumlu dağılım göstermektedir (Şekil 4.35).



Şekil 4.35 Bursa ve çevresinde 01.01.1970-01.01.2012 tarihleri arasında gözlenen M≥2 deprem aktivitesi (http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/)

4.4. TARİHSEL JEOLOJİ

Uludağ Masifi'nin oluşumunu şöyle sıralayabiliriz (Öztunalı, 1973); masifin Alt Paleozoyik (muhtemelen Silüriyen ve Devoniyen'de) jeosenklinalinde killi ve karbonatlı sedimanlar çökelmiştir. Bu sedimanların taban kısımları bölgesel metamorfizmaya uğrarken varistik faaliyetler başlamış ve bu metamorf sedimanlar arasına mağmatik intrüzyon halinde granodiyorit sokulmuştur. Granodiyoritin kimyasal dengesini 250 milyon yıl önce Uluslararası Jeokronoloji Cetveli'ne göre Devoniyen-Permiyen geçişinde veya Alt Permiyen'de bulmuştur. Alt Permiyen'de plütonitin soğumasını yükselme hareketleri takip etmiş ve Üst Permiyen'de masif su seviyesi üstünde Alpin hareketinin başlangıcına kadar kalmıştır. Alpin hareketinin başlangıcı ile Uludağ ısınmaya başlamıştır.

Permiyen öncesi yaşlı kayalar üzerine transgresif Permiyen karbonat platformu çökelmiştir. Permiyen sonunda başlayan riftleşmeyle bölge aktif bir blok faylanma etkisinde kalmıştır (Şenyuva, 1991). Alt Triyas'ta Karakaya grubu kayaçları çökelmiştir (Bingöl ve diğ. 1973). Hersiniyen kıtasal birimlerini Uludağ metamorfitleri ve tektonik dokanakta bulunduğu Karakaya Kompleksi (Bingöl, 1975) birimleri Sakarya Kıtası'nın temelini oluşturmaktadır. Permiyen kireçtaşları bu faylanmalarla Karakaya grubu içinde bloklar halinde bulunmaktadır.

Üst Triyas'ta tektonik aktivitenin azalması sonucu duraylı ve sakin ortamda hızlı sedimantasyon sonucu sığ denizel çökeller oluşmuştur. Liyas'ta transgresif Bayırköy formasyonu ve üzerine Bilecik kireçtaşı çökelmiştir ve Alt-Üst Kretase döneminde kırıntılı karbonat çökelimi devam etmiştir. Üst Kretase'de çalışma alanının kuzeyinde kalan kesimde fliş çökeller oluşmuş, alçalan yükselen rejim etkisi altında 1-2 km'ye varan boyutta Jura yaşlı Bilecik kireçtaşı olistolitleri içerir. Alanın kuzeyi bu etkiler altındayken güneyinde duraylı rejim sonucu derin deniz çökelleri gözlenir. Üst Kretase-Paleosen ve Paleosen sonunda regresif hareketlerle karasal çökeller oluşmuştur (Şenyuva, 1991).

Eosen çökelleri kalın çökel istifler sunarken, Alt Eosen'de bazalt oluşumları gözlenmektedir. Tektonizmaya bağılı olarak Üst Miyosen çökelleri, çok kaba

konglomera ile başlayıp kumtaşı, kiltaşı, kireçtaşı ve tutturulmamış kil, silt, kum, çakıl ve marn düzeyleri içerir. Kuvaterner'de Kuzey Anadolu Fayı ile ilişkili gelişen büyük ölçekli faylar, genç çökellerin depolanmasını denetlemiştir (Şenyuva, 1991). Bursa Ovası, Bursa normal fayı etkisiyle oluşmuştur. Ova alüvyonla kaplı olup asimetrik çek-ayır (pull-apart) biçiminde ve KD-GB yönünde gerilme rejimine bağlı olarak Erken Pliyosen'de açılmaya başlamıştır (Selim ve diğ., 2006, Rahe ve diğ., 1998). Bölgedeki alüvyon yelpazeleri, sıcak su kaynakları, traverten oluşumları Bursa Fayı'nın etkisinde gelişmiştir.

4.5. HİDROLOJİ

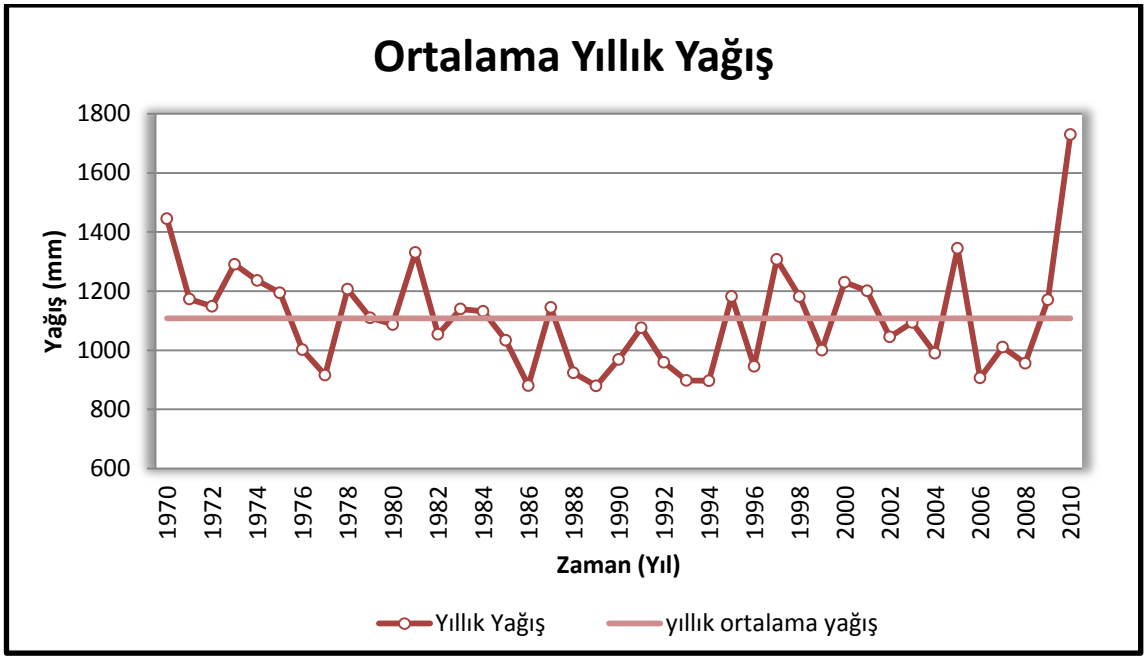
Bursa Havzası'nın ayrıntılı hidroloji incelemesi için hidrometeoroloji verileri (sıcaklık, yağış, buharlaşma) ve su noktalarının (akarsular, kaynaklar, kuyular) hidrolojik özellikleri değerlendirilerek havzanın su bilançosu hazırlanmıştır.

4.5.1. HİDROMETEOROLOJİ

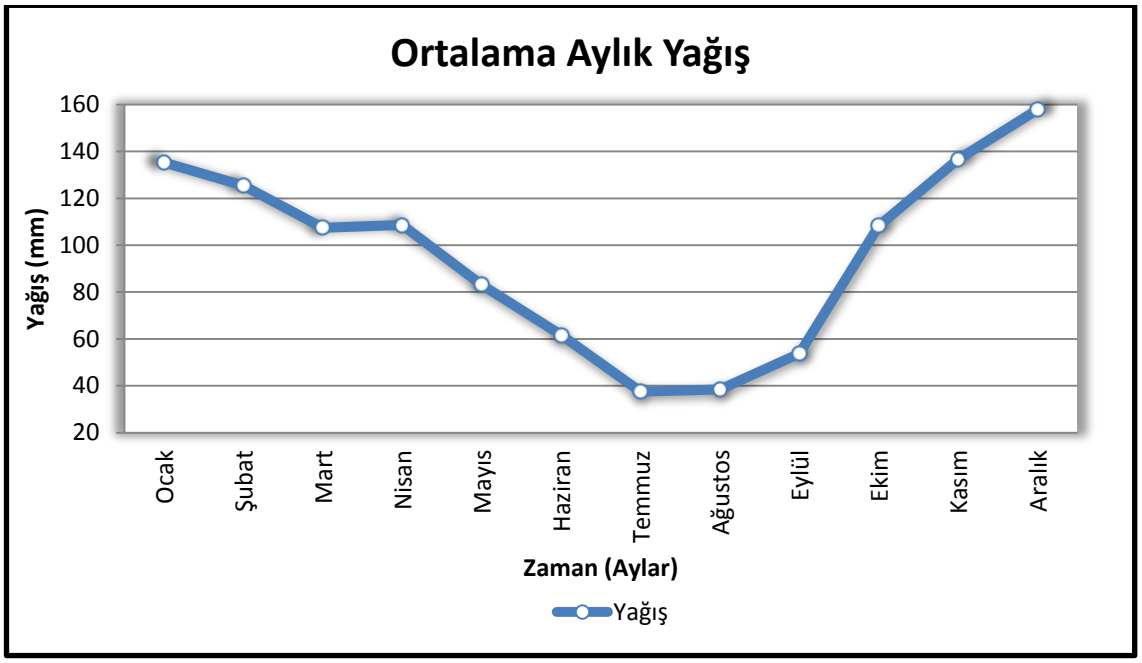
Çalışma alanında Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne bağlı Bursa Meteoroloji İstasyonu (17116), Uludağ Meteoroloji İstasyonu (17676), Sarıalan-Uludağ Meteoroloji İstasyonları'nın (686) aylık ortalama sıcaklık, aylık toplam yağış ve aylık ortalama günlük toplam açık yüzey buharlaşması verileri aritmetik ortalama yöntemi hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken Bursa ve Uludağ Meteoroloji İstasyonları verileri 1970-2010 yılları arasındadır. Buna karşın Sarıalan-Uludağ Meteoroloji İstasyonu verileri 1970-1986 yılları arasında verileri mevcuttur. Bu nedenle hesaplamalarda Sarıalan-Uludağ Meteoroloji İstasyonu verileri sadece verisi olduğu yıllara eklenmiş olup, diğer yılların hesaplamaları Bursa ve Uludağ Meteoroloji İstasyonları verileri arasında gerçekleştirilmiştir.

4.5.1.1. Yağış

Bursa Ovası'nın, 1970-2010 yılları arasında yıllık ortalama yağış miktarı 1107,9 mm, yağışın en fazla olduğu aylar Kasım- Aralık- Ocak ve Şubat, yağışın en az olduğu aylar ise Temmuz- Ağustos ve Eylül aylarıdır (Şekil 4.36-4.37). Yağışın en fazla olduğu Aralık ayında 157,8 mm, en düşük olduğu Temmuz ayında ise 37,4 mm'dir.



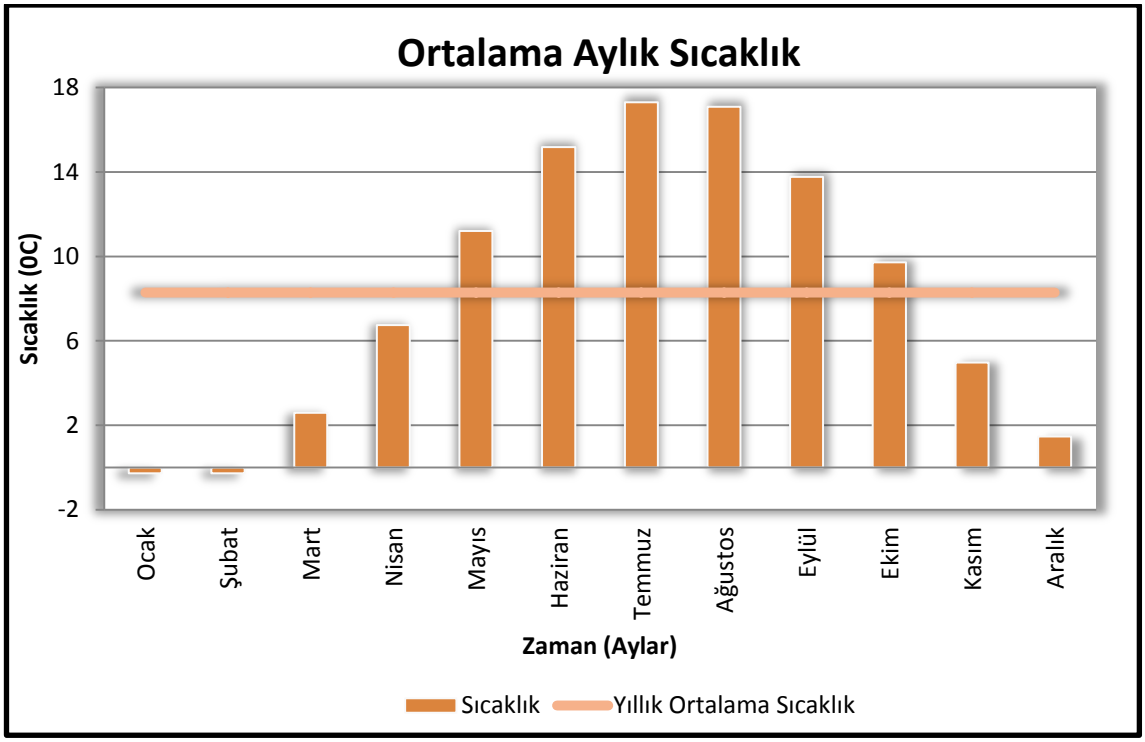
Şekil 4.36 Yağışın yıllara göre değişimi



Şekil 4.37 Yağışın aylara göre değişimi

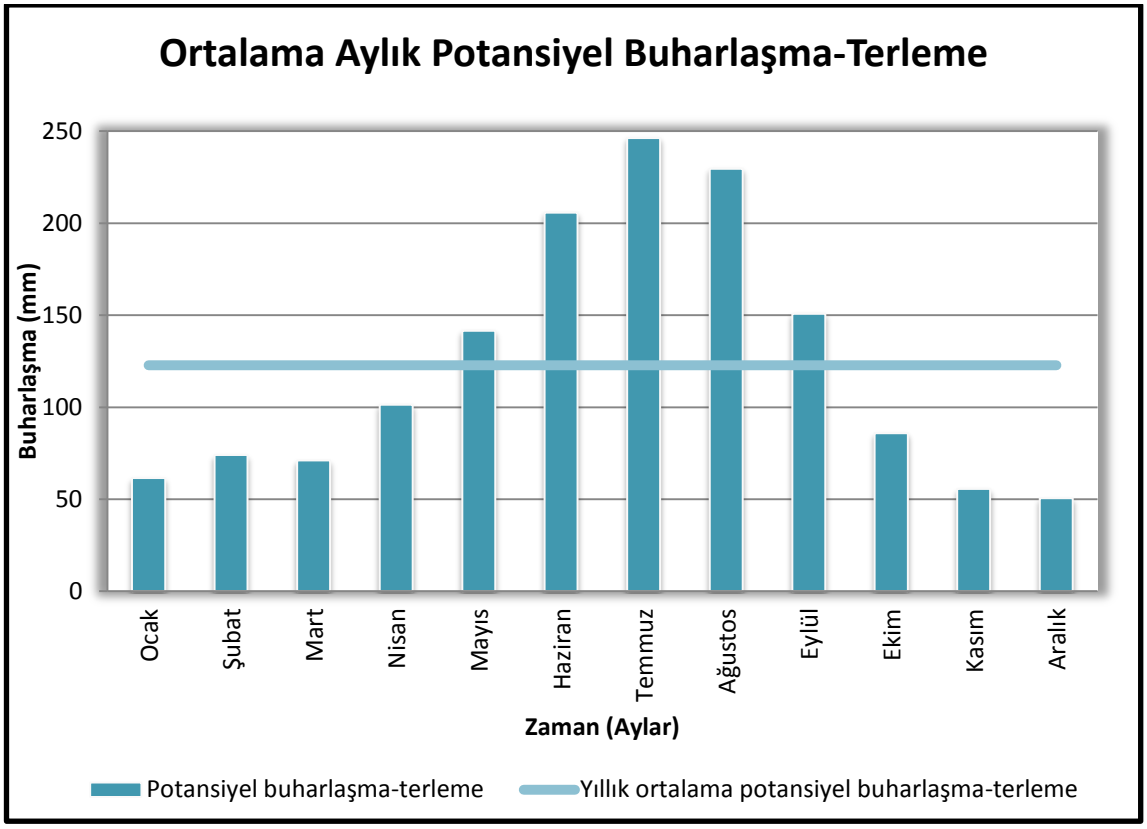
4.5.1.2. Sıcaklık ve Buharlaşma

İnceleme alanında 1970-2010 yılları arasındaki aylık ortalama sıcaklık 8,3°C, en sıcak aylar Temmuz (17,3°C) ve Ağustos (17,1°C), en soğuk aylar ise Ocak (-3°C) ve Şubat (-3°C) aylarıdır (Şekil 4.38).



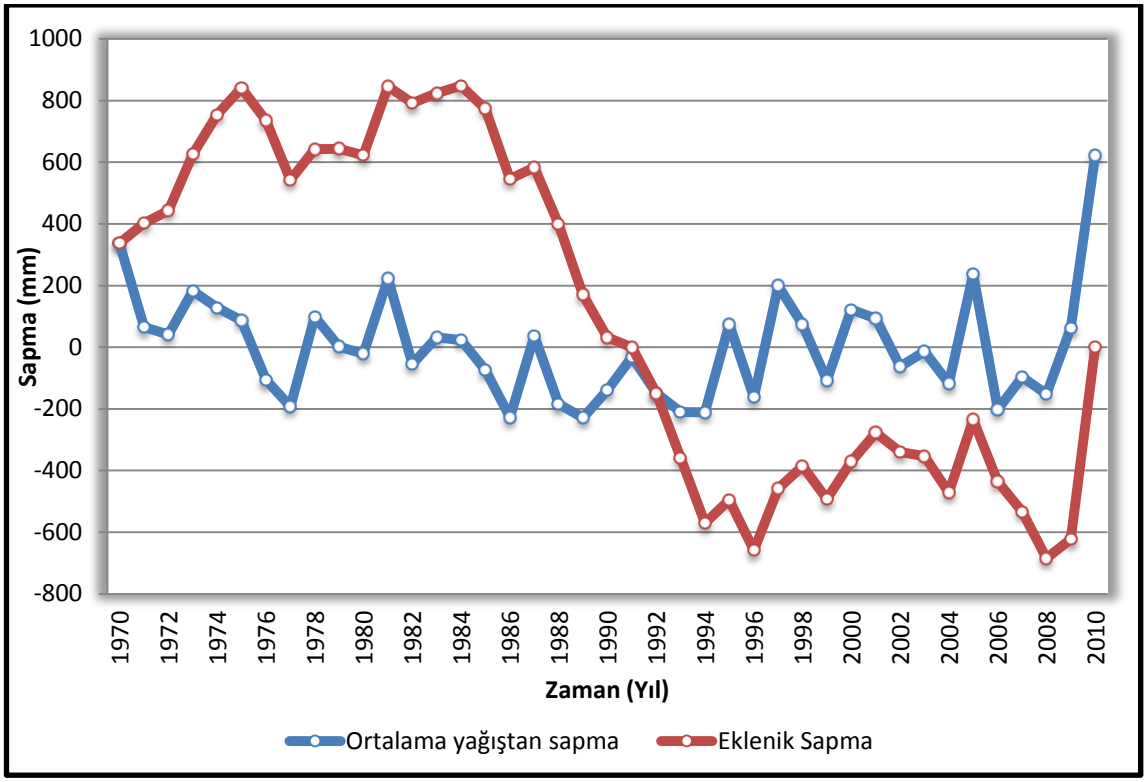
Şekil 4.38 Zamana bağlı ortalama sıcaklık değişimi

Potansiyel buharlaşma-terleme en çok Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında görülür. Potansiyel buharlaşma-terleme Temmuz ayında 246,16 mm'ye ulaşır (Şekil 4.39).

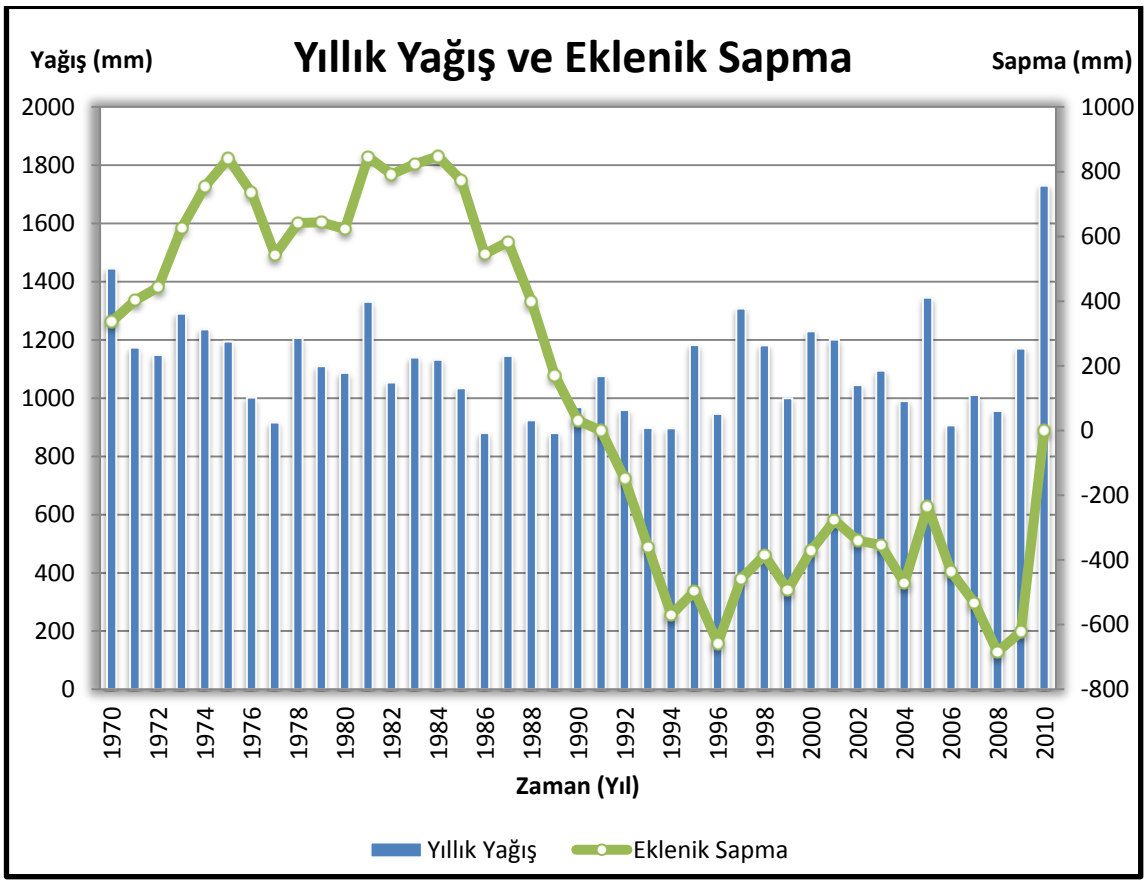


Şekil 4.39 Buharlaşma-terlemenin aylara göre değişimi

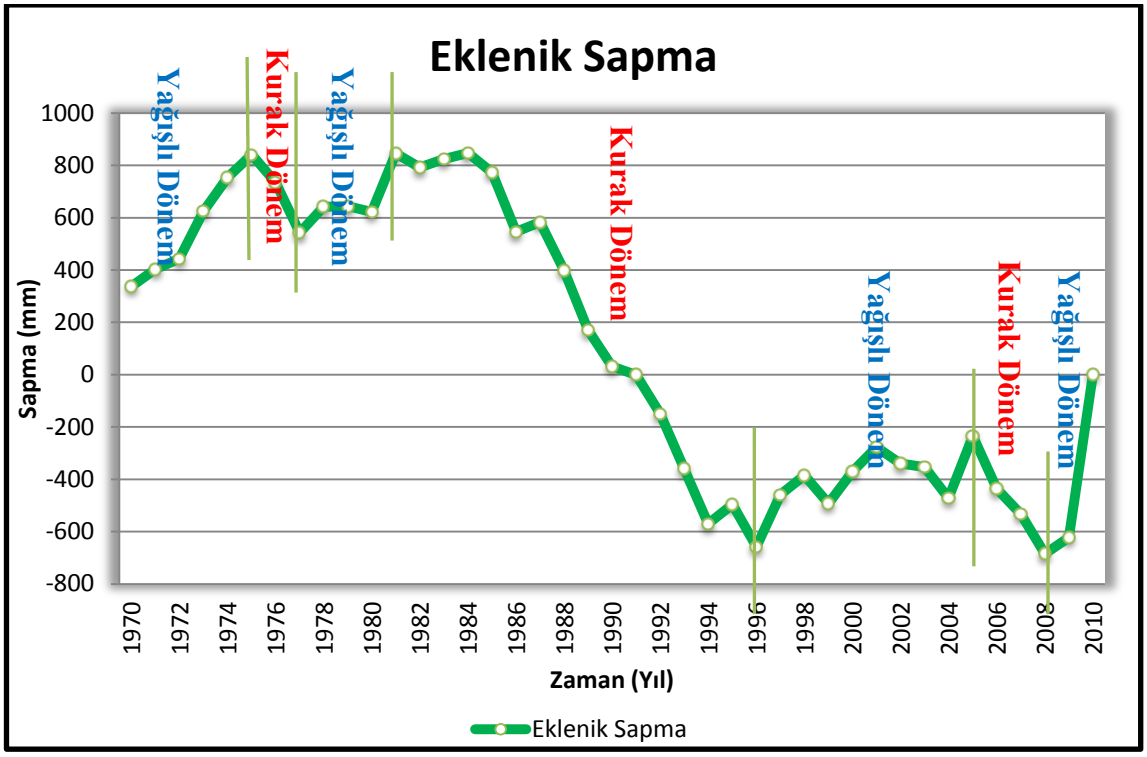
Bursa, Uludağ ve Sarıalan-Uludağ Meteoroloji İstasyonlarının 1970-2010 yılları arasındaki ortalama yıllık yağış değerlerine göre hesaplanan eklenik sapma, ortalama yağıştan sapma ve yıllık yağışın ortalamadan sapma değerleri birbirleriyle uyumludur (Şekil 4.40 ve Şekil 4.41). İnceleme alanında yağışlı ve kurak dönemleri belirlemek için eklenik sapma değerlerine göre; 1970-1975 yılları arası yağışlı dönem, 1975-1977 yılları arası kurak dönem, 1977-1981 yılları arası yağışlı dönem, 1981-1996 yılları arası kurak dönem, 1996-2005 yılları arası yağışlı dönem, 2005-2008 yılları arası kurak dönem, 2008-2010 yılları arası yağışlı dönemdir (Şekil 4.42).



Şekil 4.40 Eklenik sapma ile ortalama yağışın yıllara göre değişimi



Şekil 4.41 Yağış ile sapma arasındaki ilişki

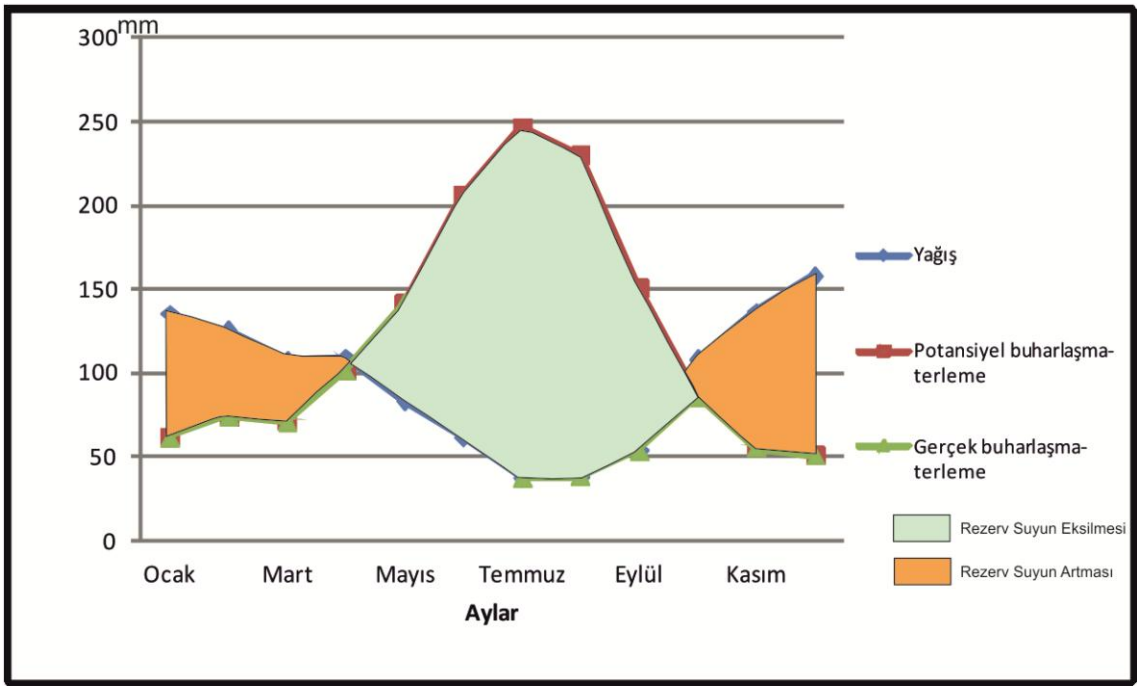


Şekil 4.42 Eklenik sapma ile bulunan yağışlı ve kurak dönemler

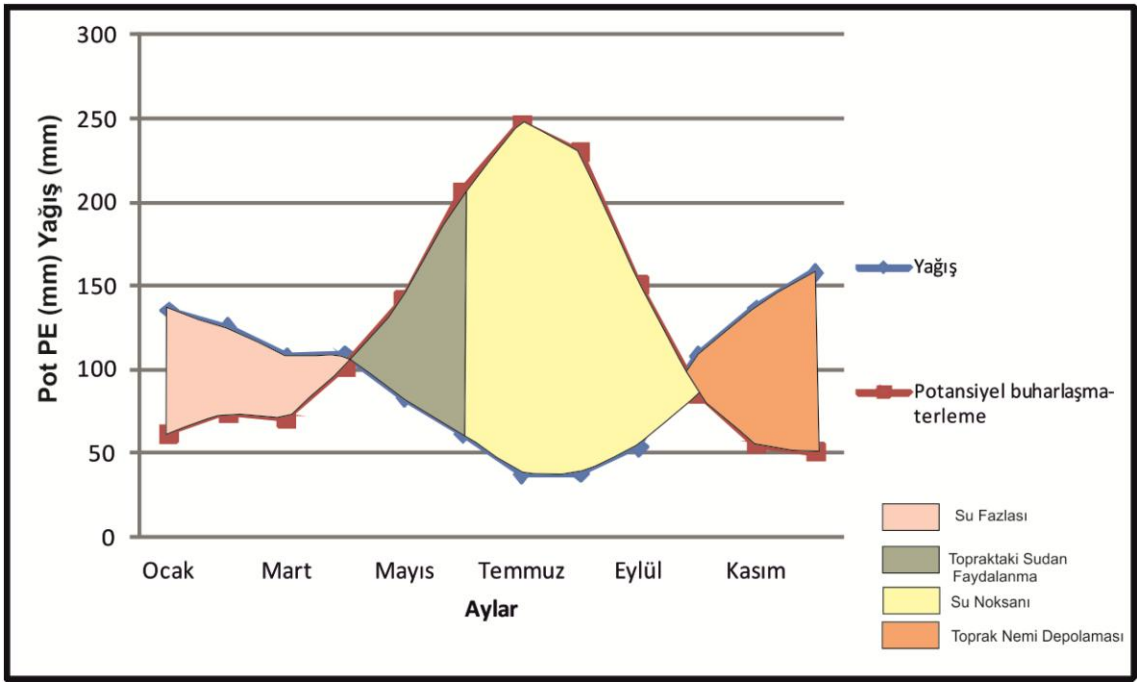
Bursa, Uludağ ve Sarıalan-Uludağ Meteoroloji İstasyonları yağış değerlerine göre hazırlanan Penman Potansiyel-Buharlaşma Terleme Bilançosu değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Bu değerlere göre yağış ve PE aylık değişim grafikleri Şekil 4.43 ve 4.44'te verilmiştir. Şekil 4.43'e göre rezerv suyu Ekim ayında artmaya başlamaktadır. Şekil 4.44'e göre Haziran ve Eylül ayları arasında su noksanı görülmektedir.

Tablo 4.1 Bursa Ovası için Penman Potansiyel Burharlaşma-Terleme Bilançosu

Meteorolojik elemanlar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Yağış	135,3	125,5	107,4	108,6	83,1	61,6	37,4	38,4	53,7	108,2	136,7	157,8	1153,7
Potansiyel buharlaşma-terleme	61,5	74,0	71,1	101,3	141,5	205,7	246,2	229,5	150,8	85,9	55,6	50,6	1473,6
Yağış-potansiyel buharlaşma-terleme	73,8	51,5	36,4	7,3	-58,4	-144,1	-208,7	-191,1	-97	22,3	81,1	107,2	-319,9
Rezerv su	100	100	100	100	41,6	0	0	0	0	22,3	100	100	663,9
Gerçek buharlaşma-terleme	61,5	74,0	71,1	101,3	141,5	103,2	37,4	38,4	53,7	85,9	55,6	50,6	874,2
Eksik su	0	0	0	0	0	102,5	208,8	191,1	97,1	0,0	0,0	0,0	599,5
Fazla su	73,8	51,5	36,4	7	0	0	0	0	0	0	3,4	107,2	279,6
Sellenme	64,1	57,8	47,1	27	13,5	6,8	3,4	1,6	0,8	0,4	1,7	54,4	278,5



Şekil 4.43 Rezerv suyun yağış, PE ve gerçek PE ile değişimi



Şekil 4.44 Yağış ve PE aylık değişimi

4.5.2. SU NOKTALARI

4.5.2.1. Akarsular

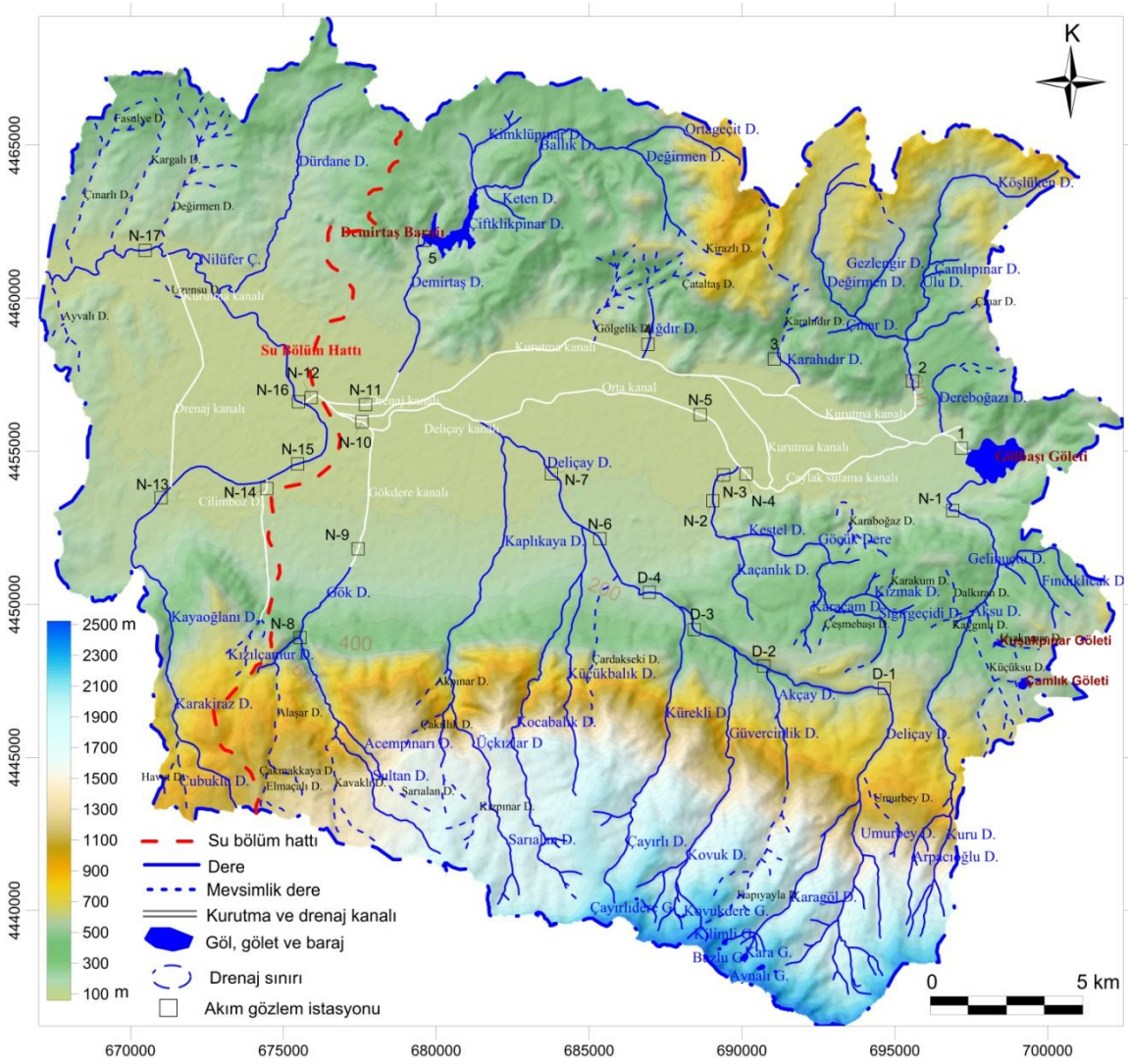
Bursa Havzası, sürekli ve mevsimlik akan dereler bakımından oldukça zengindir. Havza alanındaki derelerin pek çoğu sulama ve kurutma kanalları ile Nilüfer Çayı'na katılırlar. Bursa Havzası Nilüfer Çayı'nın havza dışından doğması ve havza dışına doğru akması sebebiyle su bölüm hattı ile ayrılmıştır. Su bölüm hattı kuzeyde Dürdane ve Demirtaş derelerinin arasında topoğrafik yükseltiden başlayan ve güneyde Çakmakkaya deresi ile Çubuklu deresi arasında sona ermektedir. Su bölüm hattının batısında kalan alanda Nilüfer Çayı, Dürdane, Cilimboz ve Kayaoğlanı dereleri bulunmaktadır (Şekil 4.45).

Ovanın en önemli akarsuyu olan Nilüfer Çayı havza dışında Keles ilçesinin 10-15 km kuzeyinde Topel Dağı'ndan doğar; Çayı'n 25,35 km'lik kısmı havza içinde akarken menderesler yaparak ovayı terk etmektedir.

Uludağ'ın kuzey yamaçlarından doğan Deliçay Deresi Nilüfer Çayı'ndan sonra havzanın ikinci en önemli akarsuyudur. Uludağ'ın yamaçlarından doğan Akçay deresi, Güvercinlik deresi, Kürekli deresi, Küçükbalık deresi, Kocabalık deresi, Kaplıkaya deresi, Gökdere dereleri yine Uludağ'dan doğan Deliçay Deresi ile birleşmektedir. Havzanın güneyinden doğan Aksu deresi (Şekil 4.46) Gelinuçtu ve Fındıklıeyrek dereleri ile birleşerek Gölbaşı Göleti'ne boşalır.

Havzanın kuzeydoğu kesiminde akan Dereboğazı deresi, Ulu dere ve Değirmen dereleri ve kuzeyinde akan Dürdane, Demirtaş, Iğdır ve Karahıdır dereleri kanallarla Nilüfer Çayı'na ulaşırlar.

Akarsuların akım değerleri 1984-1990 yılları arasında DSİ tarafından ölçülmüş olup Tablo 4.2, Tablo 4.3 ve Şekil 4.47'de gösterilmiştir.



Şekil 4.45 Bursa Havzası'nın akarsu ve akım gözlem istasyonu haritası



Şekil 4.46 Aksu Deresi

Tablo 4.2 Bursa Ovası'na giriş yapan derelerin debi ölçümleri (m^3/sn)

Akım Gözlem İstasyonu Adı	26.01.89	28.02.89	30.03.89	18.04.89	9-25.5.89	20.06.89	11.07.89	09.08.89	15.09.89	07.10. 89	01.11.89	07.12.89	17.01.90
Deliçay-Menba Gözede (1)	0,316	1,606	1,387	1,181	1,598 1,483	0,802	0,103	0,006	0,006	0,904	1	1,703	1,397
Deliçay (2)	0,478	2,729	2,614	2,32	2,158 1,875	0,908	0,151	0,026	0,037	2,072	1,696	2,493	2,138
Deliçay (3)	0,698	4,218	2,877	3,323	2,875 3,214	1,152	0,366	0,136	0,113	2,661	2,945	2,945	2,126
Deliçay (4)	0,86	4,222	2,938	3,374	3,342 3,473	1,981	0,345	Kuru	Kuru	1,545	3,701	3,725	1,596
Deliçay-Mansap Ank. Yolu (5)	0,965	4,763	3,13	4,383	3,868 3,526	2,219	0,145	Kuru	Kuru	1,229	1,918	3,127	0,35
Kestel Dere	-	0,137	-	-	0,058	-	-	0,052	-	0,008	0,351	0,28	0,161
Aksu Dere	-	0,245	-	-	0,147	-	-	Kuru	-	Kuru	0,26	0,78	0,44
Gölbaşı Çıkışı	0,17	0,17	0,17	0,337	1,04	0,52	1,51	1,177	1,268	1,272	0,149	0,219	0,292
Narlıdere	-	-	-	-	-	0,065	0,058	0,052	0,04	0,031	0,28	0,356	0,405
Karahıdır Deresi	-	-	-	-	-	-	-	Kuru	-	Kuru	0,01	0,021	0,066
Abdal Murat Köp. Nilüfer Çayı	-	1,032	-	-	0,344	-	-	0,121	-	0,135	2,118	4,1	0,909
Cilimboz Dere	-	0,743	-	-	0,795	-	-	0,954	-	0,98	1,075	0,995	0,807
Kaplıkaya Dere	-	-	-	-	-	-	-	0,024	-	-	0,804	0,448	0,213
Gökdere	-	0,428	-	-	0,519	-	-	0,771	-	Taşkın 92,5	-	-	-
Değirmen Dere	-	-	-	-	-	-	-	Kuru	-	0,038	0,48	1,3	

Tablo 4.3 Bursa Ovası'na giriş yapan derelerin debi ölçümleri (m^3/sn)

Tarih	N-1 Aksu Dere	Tarih	N-2 Kestel Deresi	Tarih	N-3 Karasu Deresi	Tarih	N-4 Cenüp Kanalı
01.04.1985	0,81	11.04.1984	0,201	11.04.1984	0,553	19.01.1984	0,488
12.11.1985	0,495	04.06.1984	0,196	04.06.1984	0,334	11.04.1984	0,573
04.02.1986	1,489	01.08.1984	0,132	01.08.1984	0,34	11.06.1984	0,406
08.04.1986	0,436	04.12.1984	0,087	24.09.1984	0,0065	03.07.1984	0,716
12.06.1986	1,756	14.01.1985	0,112	04.12.1984	0,125	01.08.1984	0,327
10.10.1986	0,02	10.04.1985	0,139	14.01.1985	0,139	23.09.1984	0,456
09.12.1986	0,08	12.11.1985	0,163	10.04.1985	0,087	04.12.1984	0,28
16.02.1987	0,34	04.02.1986	1,229	12.06.1985	0,042	14.01.1985	0,238
08.04.1987	1,3	08.04.1986	0,003	17.07.1985	0,0021	10.04.1985	0,167
25.06.1987	0,349	10.10.1986	0,006	12.11.1985	0,088	12.06.1985	0,046
18.08.1987	0,004	09.12.1986	0,117	04.02.1986	0,442	17.07.1985	0,042
22.10.1987	0,092	16.02.1987	0,237	08.04.1986	0,134	07.08.1985	0,027
15.12.1987	1,016	08.04.1987	0,405	12.06.1986	0,36	03.09.1985	0,011
17.02.1988	0,305	25.06.1987	0,115	11.10.1986	0,013	12.11.1985	0,105
11.05.1988	0,712	18.08.1987	0,0007	09.12.1986	0,031	04.05.1986	0,216
13.02.1989	0,245	22.10.1987	0,134	16.02.1987	0,44	08.04.1986	0,184
02.05.1989	0,147	15.12.1987	0,299	08.04.1987	0,169	12.06.1986	0,485
		17.02.1988	0,168	17.06.1987	0,217	11.08.1986	0,03
		11.05.1988	0,031	11.08.1987	0,006	10.10.1986	0,009
		13.02.1989	0,137	15.12.1987	0,186	09.12.1986	0,089
		02.05.1989	0,058	17.02.1988	0,064	16.02.1987	0,182
		09.08.1989	0,004	11.05.1988	0,061	08.04.1987	1,300
				11.10.1988	0,035	25.06.1987	0,226
				13.02.1989	0,55	18.08.1987	0,114
				02.05.1989	0,038	22.10.1987	0,075
				09.08.1989	0,004	15.12.1987	0,348
						17.02.1988	0,295
						11.05.1988	0,176
						11.08.1988	0,093
						11.10.1988	0,076
						12.05.1989	0,064

Tablo 4.3'ün devamı Bursa Ovası'na giriş yapan derelerin debi ölçümleri (m^3/sn)

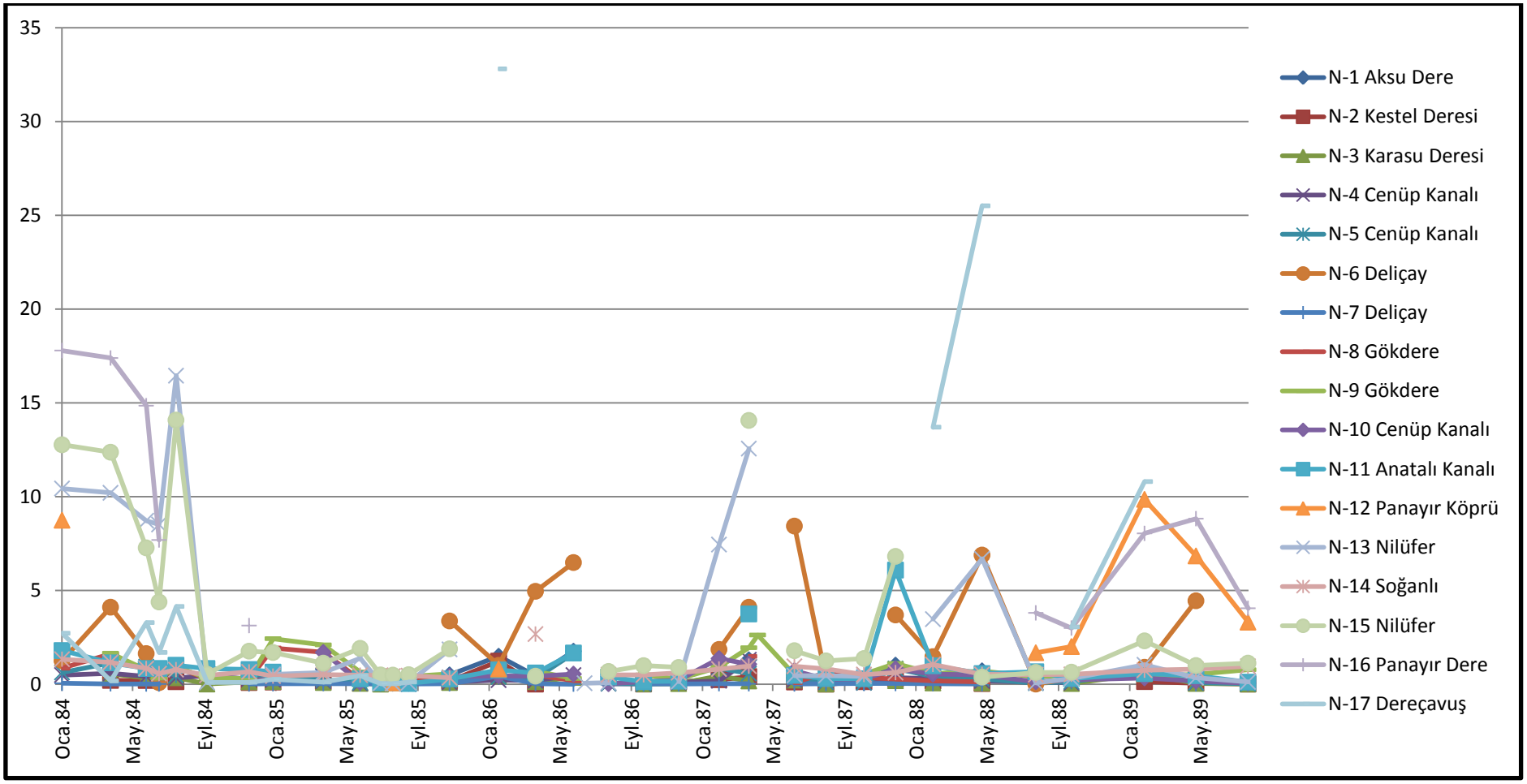
Tarih	N-5 Cenüp Kanalı	Tarih	N-6 Deliçay	Tarih	N-7 Deliçay	Tarih	N-8 Gökdere
19.11.1984	0,624	14.01.1985	1,251	19.01.1984	0,048	19.01.1984	0,849
11.04.1984	1,126	10.04.1985	4,104	11.04.1984	0,016	11.04.1984	1,615
04.06.1984	0,936	12.06.1985	1,631	04.06.1989	0,009	04.06.1984	0,731
03.07.1984	0,74	17.07.1985	0,079	03.07.1984	0,01	03.07.1984	0,288
01.08.1984	0,462	12.11.1985	3,37	04.12.1984	0,011	01.08.1984	0,9
04.12.1984	0,492	04.02.1986	1,003	14.01.1985	0,018	23.09.1984	0,292
14.01.1985	0,489	08.04.1986	4,95	10.04.1985	0,031	04.12.1984	0,28
10.04.1985	0,226	13.06.1986	6,484	12.06.1985	0,02	14.01.1985	1,927
12.06.1985	0,088	10.10.1986	0,275	17.07.1985	0,0089	10.04.1985	1,695
12.11.1985	0,356	16.02.1987	1,852	07.08.1985	0,011	12.06.1985	0,239
04.02.1986	0,385	08.04.1987	4,102	03.09.1985	0,009	17.07.1985	0,212
08.04.1986	0,321	25.06.1987	8,428	12.11.1985	0,019	07.08.1985	0,199
12.06.1986	1,643	18.08.1987	0,262	04.02.1985	0,428	03.09.1985	0,201
11.08.1986	0,03	15.12.1987	3,689	08.04.1986	0,029	12.11.1985	0,348
10.10.1986	0,028	17.02.1988	1,467	13.06.1986	0,0017	08.04.1986	0,48
16.02.1987	0,851	11.05.1988	6,883	10.10.1986	0,01	13.06.1986	0,185
08.04.1987	0,565	11.08.1988	0,005	09.12.1986	0,016	11.08.1986	0,049
25.06.1987	0,374	11.10.1988	0,307	16.02.1987	0,024	09.04.1987	1,482
18.08.1987	0,112	13.02.1989	0,901	08.04.1987	0,02	29.06.1987	0,083
22.10.1987	0,076	02.05.1989	4,445	25.06.1987	0,0114	15.02.1987	0,618
15.12.1987	0,834			18.08.1987	0,023	17.02.1988	0,351
17.02.1988	0,416			22.10.1987	0,037	23.05.1988	0,272
11.05.1988	0,268			15.12.1987	0,032	13.02.1989	0,177
11.08.1988	0,054			17.02.1988	0,028	03.05.1989	0,126
11.10.1988	0,133			11.05.1988	0,012		
13.02.1989	0,614			02.05.1989	0,017		
02.05.1989	0,079						
09.08.1989	0,02						

Tablo 4.3'ün devamı Bursa Ovası'na giriş yapan derelerin debi ölçümleri (m^3/sn)

Tarih	N-9 Gökdere	Tarih	N-10 Cenüp Kanalı	Tarih	N-11 Anatalı Kanalı	Tarih	N-12 Panayır Köprü
11.04.1984	1,651	10.04.1985	1,695	19.01.1984	1,792	19.01.1984	8,738
04.06.1984	0,76	12.06.1985	0,1	11.04.1984	1,137	07.08.1985	0,068
03.07.1984	0,315	07.08.1985	0,068	04.06.1984	0,837	04.02.1986	0,807
01.08.1984	0,93	12.11.1985	0,413	03.07.1984	0,837	11.08.1988	1,675
23.09.1984	0,336	04.02.1986	0,442	01.08.1984	1,008	11.10.1988	2,003
04.12.1984	0,301	08.04.1986	0,433	23.09.1984	0,834	14.02.1989	9,85
14.01.1985	2,427	13.06.1986	0,536	04.12.1984	0,78	03.05.1989	6,834
10.04.1985	2,095	11.08.1986	0,024	14.01.1985	0,643	09.08.1989	3,303
12.06.1985	0,65	10.10.1986	0,141	12.06.1985	0,281		
17.07.1985	0,42	09.12.1986	0,217	17.07.1985	0,074		
07.08.1985	0,398	18.02.1987	1,365	07.08.1985	0,068	Panayır	köprü
03.09.1985	0,416	08.04.1987	1,064	03.09.1985	0,035	dere	öncesi
12.11.1985	0,55	25.06.1987	0,719	12.11.1985	0,28	14.02.1989	1,813
08.04.1986	0,69	17.08.1987	0,263	04.02.1986	0,759	03.05.1989	1,988
13.06.1986	0,303	22.10.1987	0,275	08.04.1986	0,597	09.08.1989	0,743
09.10.1986	0,492	15.12.1987	0,819	13.06.1986	1,66		
10.12.1986	0,267	17.02.1988	0,537	11.08.1986	0,381		
16.02.1987	0,911	11.05.1988	0,499	09.10.1986	0,132		
09.04.1987	1,943	11.08.1988	0,126	10.12.1986	0,16		
23.04.1987	2,62	11.10.1988	0,235	08.04.1987	3,743		
29.06.1987	0,496	13.02.1989	0,333	29.06.1987	0,468		
18.08.1987	0,390	02.05.1989	0,160	17.08.1987	0,295		
21.10.1987	0,541	09.08.1989	0,052	21.10.1987	0,288		
15.12.1987	1,101			14.12.1987	6,081		
17.02.1988	0,569			12.08.1988	0,979		
23.05.1988	0,703			23.05.1988	0,564		
11.08.1988	0,389			11.08.1988	0,661		
11.10.1988	0,501			11.10.1988	0,3		
14.02.1989	0,428			14.02.1989	0,567		
09.05.1989	0,519			03.05.1989	0,453		
09.08.1989	0,771			09.08.1989	0,107		

Tablo 4.3'ün devamı Bursa Ovası'na giriş yapan derelerin debi ölçümleri (m^3/sn)

Tarih	N-13 Nilüfer	Tarih	N-14 Soğanlı	Tarih	N-15 Nilüfer	Tarih	N-16 Panayır Dere	Tarih	N-17 Dereçavuş
18.01.1984	10,432	19.01.1984	1,33	19.01.1984	12,762	19.01.1984	17,785	19.01.1984	2,715
10.04.1984	10,200	10.04.1984	1,165	10.04.1984	12,365	10.04.1984	17,387	10.04.1984	0,171
05.06.1984	8,714	05.06.1984	0,835	05.06.1984	7,267	05.06.1984	14,845	05.06.1984	3,282
04.07.1984	8,511	04.07.1984	0,561	04.07.1984	4,381	04.07.1984	7,685	04.07.1984	1,691
01.08.1984	16,446	01.08.1984	0,775	01.08.1984	14,078	05.12.1984	3,124	01.08.1984	4,143
24.09.1984	0,094	24.09.1984	0,466	24.09.1984	0,533	11.08.1988	3,800	24.09.1984	0,100
15.01.1985	0,522	05.12.1984	0,655	05.12.1984	1,760	11.10.1988	2,993	05.12.1984	0,100
11.04.1985	0,618	15.01.1985	0,43	15.01.1985	1,688	14.02.1989	8,037	15.01.1985	0,264
13.06.1985	1,382	11.04.1985	0,503	11.04.1985	1,120	03.05.1989	8,822	11.04.1985	0,113
18.07.1985	0,045	13.06.1985	0,479	13.06.1985	1,910	09.08.1989	4,046	13.06.1985	0,451
08.08.1985	0,034	18.07.1985	0,474	18.07.1985	0,493			18.07.1985	0,0266
05.09.1985	0,076	08.08.1985	0,432	08.08.1985	0,482			08.08.1985	0,027
13.11.1985	1,854	05.09.1985	0,454	05.09.1985	0,506			05.09.1985	0,114
01.07.1986	0,051	13.11.1985	0,344	13.11.1985	1,884			14.12.1987	32,800
12.08.1986	0,078	08.04.1986	2,67	08.04.1986	0,427			18.02.1988	13,700
10.12.1986	0,140	12.08.1986	0,501	12.08.1986	0,679			10.05.1988	25,500
10.02.1987	7,443	09.10.1986	0,495	09.10.1986	0,988			11.10.1988	3,050
09.04.1987	12,559	10.12.1986	0,613	10.12.1986	0,891			10.05.1989	10,800
30.06.1987	0,458	18.02.1987	0,807	09.04.1987	14,059				
17.08.1987	0,450	09.04.1987	0,961	29.06.1987	1,785				
20.10.1987	0,418	29.06.1987	0,951	17.08.1987	1,242				
18.02.1988	3,468	17.08.1987	0,815	21.10.1987	1,366				
10.05.1988	6,680	21.10.1987	0,514	14.12.1987	6,812				
15.08.1988	0,071	14.12.1987	0,619	23.05.1988	0,375				
12.10.1988	0,297	18.02.1988	1,052	15.08.1988	0,626				
14.02.1989	1,032	23.05.1988	0,522	11.10.1988	0,640				
10.05.1989	0,344	15.08.1988	0,504	14.02.1989	2,309				
09.08.1989	0,121	11.10.1988	0,521	03.05.1989	0,992				
		14.02.1989	0,743	09.08.1989	1,122				
		03.05.1989	0,795						
		09.08.1989	0,954						



Şekil 4.47 Bursa Ovası'na giriş yapan derelerin debi ölçümleri (m^3/sn)

Havza alanı içerisinde sulama ve endüstriyel su ihtiyacını karşılamak amacıyla Demirtaş ve Gölbaşı barajları ile Uşakpınar ve Çamlık göletleri inşa edilmiştir. Ayrıca, havza alanı dışında bulunan Gölcük ve Şevketiye göletleri de bu çalışmada açıklanmıştır.

Kaya dolgu olarak dizayn edilmiş olan Demirtaş Barajı, Bursa Osmangazi ilçesine bağlı Demirtaş beldesinde yer almaktadır. Baraj, Ballıkaya deresi üzerinde sulama ve endüstri suyu amacıyla 1977-1983 yılları arasında inşa edilmiştir. Kaya gövde dolgu tipi olan barajın gövde hacmi 1,714 hm^3, akarsu yatağından yüksekliği 46,00 m, normal su kotunda göl hacmi 14,457 hm^3, normal su kotunda göl alanı 1,10 km^2'dir ve 2062 hektarlık bir alana sulama ve endüstri suyu sağlamaktadır (www.dsi.gov.tr).

Gölbaşı Barajı, Bursa Kestel ilçesinde, Aksu deresi üzerinde sulama suyu amacıyla 1933-1938 yılları arasında inşa edilmiştir. Homojen toprak dolgu tipi olan barajın gövde hacmi 0,320 hm^3, akarsu yatağından yüksekliği 12,00 m, normal su kotunda göl hacmi 14,28 hm^3, normal su kotunda göl alanı 2,753 km^2'dir ve 1816 hektarlık bir alana sulama hizmeti vermektedir (www.dsi.gov.tr). (Şekil 4.48).



Şekil 4.48 Gölbaşı Barajı

Kestel ilçesine bağlı Uşakpınar Göleti sulama amacıyla Uşakpınar deresi üzerinde 1995-1999 yılları arasında inşa edilmiştir. Göletin gövde dolgu tipi homojen toprak dolgu, temelden yüksekliği 33,5 m ve talvegden yüksekliği 31 m'dir. Göletin depolama hacmi 0,500 hm^3, aktif hacmi 0,450 hm^3 ve ölü hacmi 0,050 hm^3'tür. Sulama amaçlı açılmış olan bu göletin sulama alanı 96 hektardır (www.dsi.gov.tr).

Çamlık Göleti, Kestel ilçesinde Çamlık deresi üzerine 2002-2004 yılları arasında sulama amacıyla inşa edilmiştir. Kil çekirdekli homojen dolgu tipinde olan göletin

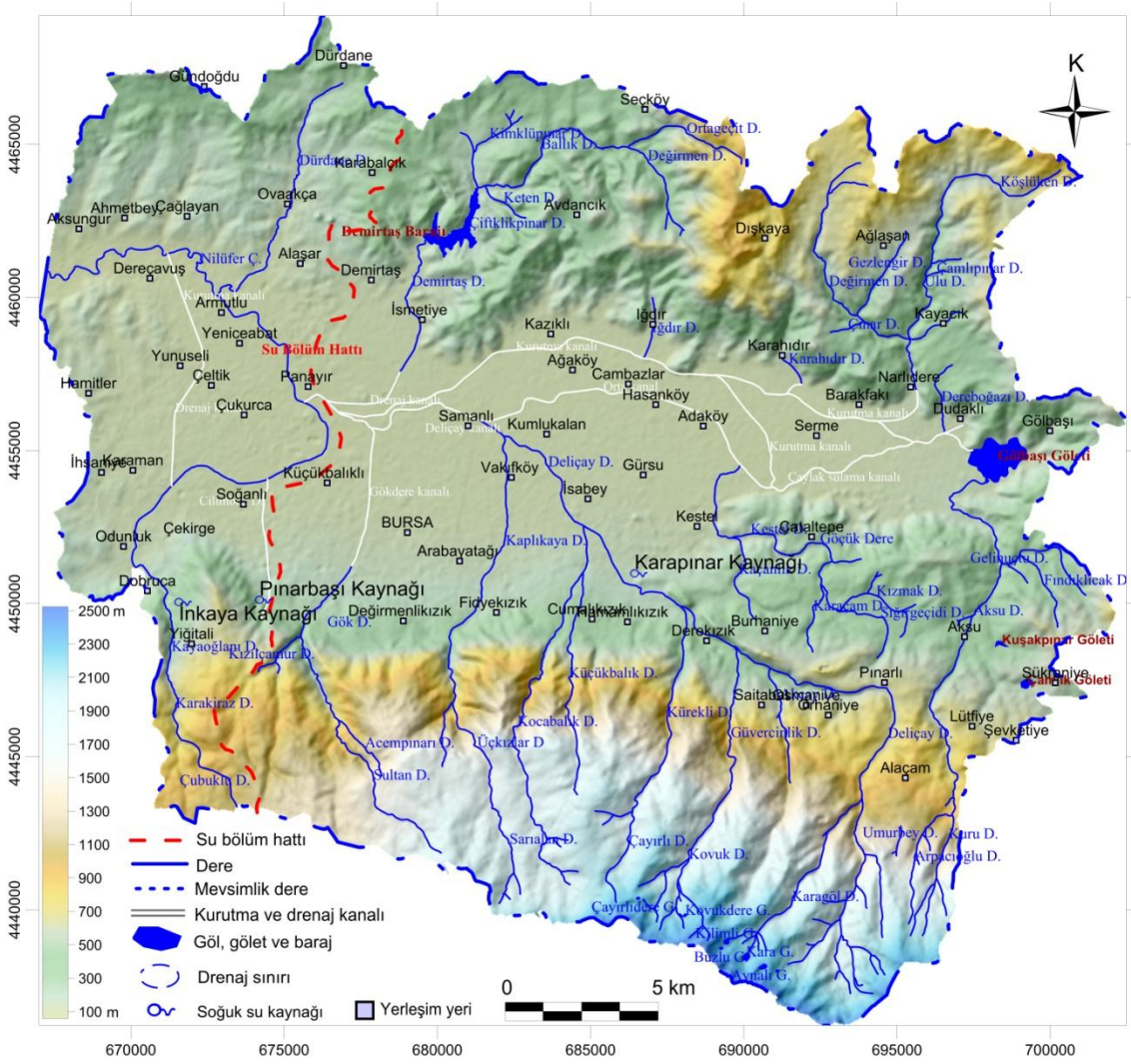
depolama hacmi 0,858 hm^3, aktif hacmi 0,849 hm^3 ve ölü hacmi 0,009 hm^3'tür. Göletin temelden ve talvegden yüksekliği sırasıyla 20 ve 18 m'dir. Sulama amaçlı açılmış olan bu göletin sulama alanı 213 hektardır (www.dsi.gov.tr).

Havza alanı dışında yer alan Gölcük Göleti, Kestel ilçesinde Kayran deresi üzerinde 1991-1995 yılları arasında sulama amacıyla havza alanı dışında inşa edilmiştir. Göletin gövde dolgu tipi homojen toprak dolgu, talvegden ve temelden yüksekliği sırasıyla 23 ve 28 m'dir. Göletin depolama hacmi 4,300 hm^3, aktif hacmi 4 hm^3 ve ölü hacmi 0,300 hm^3'tür. Sulama amaçlı inşa edilmiş olan göletin sulama alanı 820 hektardır (www.dsi.gov.tr).

Havza alanı dışında yer alan Şevketiye Göleti, Kestel ilçesinde Kurudere'den derivasyonla 1998-2006 yılları arasında toprak ve kaya dolgu gövde tipinde yapılmıştır. Göletin depolama hacmi 0,600 hm^3, aktif hacmi 0,590 hm^3 ve ölü hacmi 0,010 hm^3'tür. Göletin talvegden ve temelden yüksekliği sırasıyla 19 ve 20 m'dir. Sulama amaçlı inşa edilmiş olan göletin sulama alanı 456 hektardır (www.dsi.gov.tr).

4.5.2.2. Kaynaklar

İnceleme alanında Karapınar kaynağı, Pınarbaşı kaynağı ve İnkaya kaynağı başlıca soğuk su kaynaklardır. Karapınar kaynağı Kestel ilçesinde Aktaş tepe kuzeyinde Üst Permiyen yaşlı Yörüktepe formasyonu kireçtaşlarından boşalmaktadır ve inceleme alanındaki en verimli kaynaktır. Pınarbaşı kaynağı, Uludağ'ın kuzeyinde Pınarbaşı mevkiinde Uludağ mermerlerinden; İnkaya kaynağı ise İnkaya köyünde travertenden boşalmaktadır. Karapınar kaynağının boşalım kotu 150 m'dir. Debisi mevsimlerle ve yağışlarla birlikte değişim göstermektedir. DSİ tarafından 1968-1972 yılları arasında yapılan debi ölçümlerine göre 276-2383 lt/s arasında değişmektedir. En düşük debi Ekim-1988 yılında 35 lt/s olarak ölçülmüştür. Pınarbaşı kaynağının debisi değişkendir ve 1968-1971 yılları arasında yapılan debi ölçümlerinde 43-582 lt/s arasında değiştiği gözlemlenmiştir. İnkaya kaynağının ortalama debisi ise 50 lt/s'dir (Şekil 4.49). Bu kaynakların dışında inceleme alanında verimleri 0,5-10 lt/s arasında olan mevsimlik birçok soğuk su kaynağı bulunmaktadır. İnceleme alanında Çekirge semti ve çevresi jeotermal kaynaklar açısından zengindir. Bu kaynakların özellikleri jeotermal başlığı altında incelenecektir.

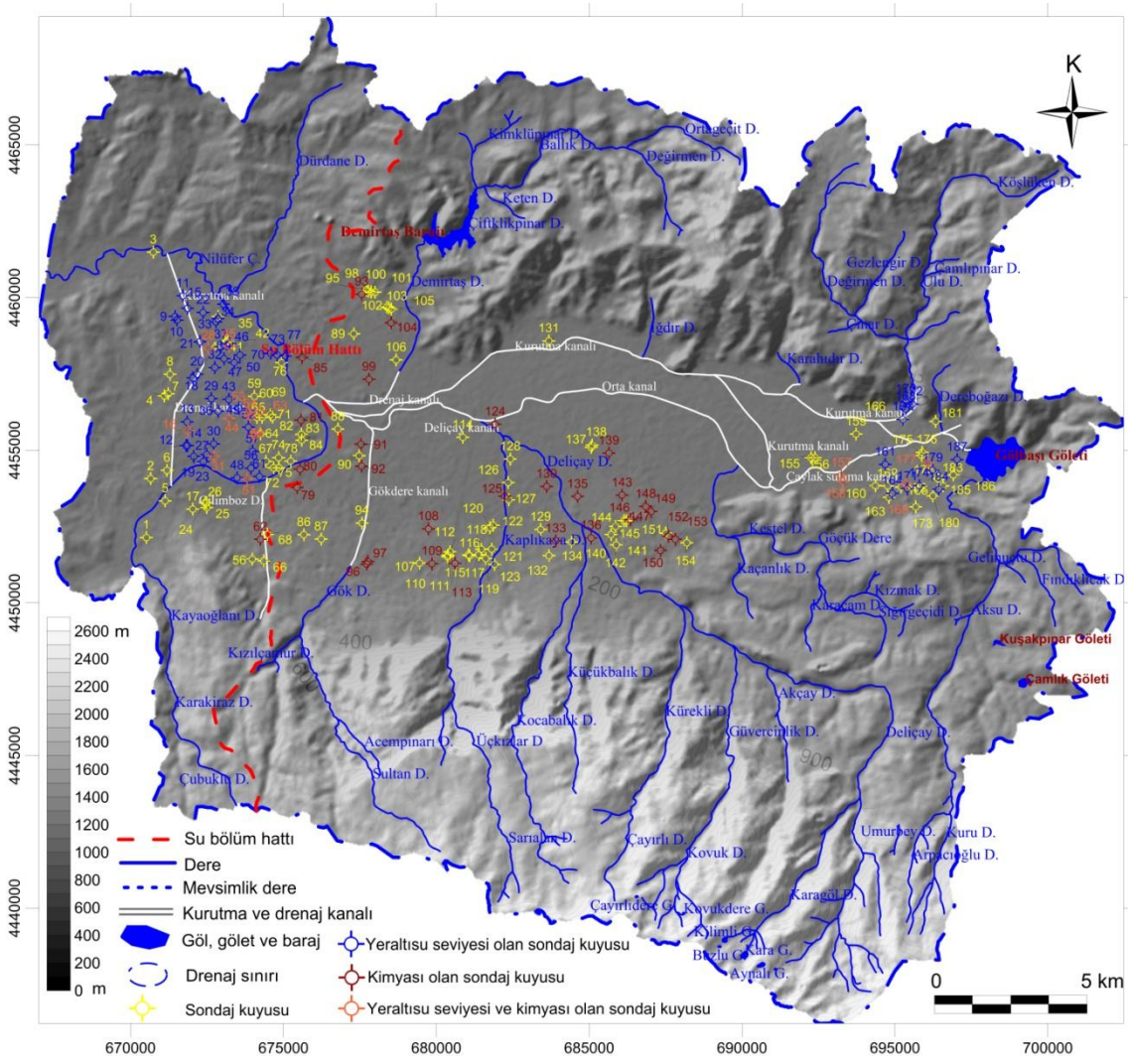


Şekil 4.49 İnceleme alanında bulunan soğuk su kaynakları

4.5.2.3. Kuyular

Bursa Havzası'nda kuyular akarsu yelpazesi çökelleri ve alüvyonda açılmışlardır. Bursa Ovası'nda sulama ve endüstride kullanım amaçlı açılmış olan 187 adet sondaj kuyusundan bu çalışma kapsamında 44 adedinin kimyasal analizi yapılmıştır ve 61 adedinin ise yeraltısuyu seviyesi ölçülmüştür. İnceleme alanında bulunan kuyuların lokasyonları ise Şekil 4.50'de gösterilmektedir.

İnceleme alanında bulunan kuyuların hidrolik özellikleri Tablo 4.4'te verilmiştir. Sondaj kuyularının derinlikleri 20-300 m, statik su seviyelerinin yüzeyden derinlikleri 4,04-16,62 m, kuyu verimleri pompajla 1,3-61,99 lt/s, artezyen verimleri 0,2-9,63 lt/s, özgül debi 0,025-11 lt/s/m arasında değişmektedir.



Şekil 4.50 İnceleme alanında bulunan kuyular

Tablo 4.4 Kuyuların hidrolik özellikleri

X	Y	Kuyu ismi (DSİ)	Kuyu no	Kuyu kotu (m)	Derinlik (m)	Statik su seviyesi (m)	Dinamik su seviyesi (m)	Verim (l/s)
670515	4452140	6798	1		74	11,33	12,2	16,2
670655	4454067	4943	2	107	200	9,04	9,7	34,9
670744	4461484	13494	3	75	86,7	2,82		1,3
671101	4456783	33305	4	85	92,5	13	15,8	40,19
671130	4453338	39479	5	85	66			
671192	4454339	56018	6	102	110			
671229	4456847	33306	7	86	104	11,35	14,05	60,17
671290	4457484	33307	8	88	106	9,75	12,12	60,17
671453	4459376	30169	9	85	54	4,15	11	24,76
671515	4459258	58377	10	88	92	6,75	19,85	23,06
671710	4460056	30507	11	83	67	6,8		31
671814	4455149	32206	12	98	118	18	21,68	60,17
671852	4455926	32208	13	96	115	14	15,4	60,17
671864	4455150	32205	14	96	108	16,7	19	60,98
671866	4459648	30508	15	85	52	5,35	11,78	50,4
671876	4455645	32207	16	96	104,4	15	16	60,17
672030	4453067	9751	17		47,5	7,65	10,06	14
672040	4457363	59022	18	82	145	14,05	16,55	35,28
672067	4454800	44129	19	90				
672180	4457485	29988	20	91	104	6,18		61,88
672269	4458554	30509	21	85	80	7,5		60,17
672373	4459512	29989	22	84	84	2,6	6,58	60,17
672377	4454628	46877	23	90				
672433	4453274	18838	24	90	130,5	7,5	9,24	54,93
672491	4453274	18839	25	89	119	6,85	8,59	59,09
672491	4453118	18840	26	92	90	6	7,78	50,08
672495	4454864	32209	27	96	118	17,7		60,17
672542	4458345	18772	28	83	94	2,14	5,12	50
672641	4456685	30500	29	91	141	8,28	9	61,55
672721	4455205	52109	30	94				
672723	4454807	32210	31	98	104	17,6	20,25	60,17
672758	4457707	18777	32	84	124	1		50
672791	4459203	30506	33	82	70	5,7	9,7	60
672859	4459306	30168	34	83	65	3,75	8,3	50,09
672865	4459375	54137	35	85	124			

Tablo 4.4'ün devamı Kuyuların hidrolik özellikleri

X	Y	Kuyu ismi (DSİ)	Kuyu no	Kuyu kotu (m)	Derinlik (m)	Statik su seviyesi (m)	Dinamik su seviyesi (m)	Verim (l/s)
672955	4458382	18771	37	83	97,3	0,5	3,39	57,5
673039	4459780	30505	38	90	68	4,2	21,28	59,54
673061	4457994	18776	39	84	122	0,85	3,57	50
673095	4458519	7530-C	40	83	300	ART 0,55	26,11	8,1
673140	4458549	7530-B	41	83	94	11,46	3,37	2,53
673175	4458586	7530-A	42	83	46,6	0,34	3,6	24,5
673217	4456661	30499	43	90	122	6,8		61,99
673220	4456039	30498	44	91	150	7,75	9,4	60,17
673223	4458400	18775	45	84	110	ART 0,2	2,07	50
673240	4458488	18770	46	83	100	0,1		50
673389	4457866	18773	47	82	107,5	0	1,87	50,08
673486	4454091	48876	48	90				
673551	4456370	30502	49	91	150	5,3		60,54
673577	4458111	18774	50	82	112	0,6	2,42	50,08
673815	4454065	29986	51	94	105	6,8	12,4	50,46
673856	4455756	30497	52	93	142	5,95	8,07	60,17
673864	4456242	30501	53	91	120	7	10,75	60,17
673906	4456112	56584	54	88	100	19,1	21,02	29,8
673939	4454409	55063	55	84	120	13,1	19,6	43,6
673983	4451436	7536	56	141	250,7	ART 2,21	13,36	51,1
673993	4454962	30165	57	95	111	7,35	13,23	60,35
674038	4455475	52430	58	94	110	20,2	25,31	35,28
674052	4456764	57510	59	87	129	11,1	16,94	51,91
674132	4456072	54140	60	90	120			
674216	4454136	58870	61	97	132			
674247	4452079		62	133				
674251	4456278	30161	63	93				
674256	4455536	30496	64	94	150	6,8	9,65	60,17
674302	4456076	52509	65	85	112			
674359	4451378	9750	66	151	152,5	11,47	13,1	10
674426	4454633	30164	67	98	120	9,7	16,1	60,17
674481	4452244	10543	68		46,5	15,18	16,14	12,8
674576	4456165	30166	69	90	129	3,7	7,7	60,17
674587	4458171	30504	70	87	127	3	5,55	53,61
674642	4456084	32211	71	87	120			

Tablo 4.4'ün devamı Kuyuların hidrolik özellikleri

X	Y	Kuyu ismi (DSİ)	Kuyu no	Kuyu kotu (m)	Derinlik (m)	Statik su seviyesi (m)	Dinamik su seviyesi (m)	Verim (l/s)
674681	4454419	40098	72	97	116			
674796	4458120	58376	73	87	112	11,4	14,5	45,36
674843	4454756	54503	74	95	150			
674851	4454423	42989	75	90	130			
674941	4457868	30167	76	95	120			
675059	4458083	30503	77	81	132	4	7,25	60,73
675243	4454639	30495	78	97	135	5,2	23	39,8
675447	4453778		79	88				
675543	4454379		80	80				
675572	4455982		81	92				
675587	4455525	7533-A	82	81	64	ART 1,24	20,8	8,1
675587	4455525	7533-B	83	81	244	ART 9,63	27,64	10
675596	4455329	34994	84	85	104			
675613	4458038		85	90				
675668	4452229	4900	86	127	100	14,67	16,39	24,5
676236	4452088	14408	87		53	19,55	22,52	27
676780	4455690	54139	88	118	134			
677302	4458812	4025	89	93	120			
677481	4454817	38714	90	90	100			
677538	4455194		91	82				
677556	4454475		92	76				
677558	4460110		93	102				
677572	4452612	31662	94	119	70	ART 2	23,93	23
677720	4460239	12856	95	115	137	1,27	11,61	42,5
677724	4451270		96	124				
677760	4451352		97	136				
677782	4460208	12855	98		124,8	1,42		35
677800	4457321		99	81				
677871	4460181	12854	100	117	122	1,33	22,22	33,5
677992	4460174	12853	101		131,75	1,1	30,27	16,5
678387	4459689	7531-A	102	109	20	7,38	11,94	5,8
678456	4459662	7531-B	103	108	40	6,94	19,69	11
678525	4459168		104	90				
678529	4459624	7531-C	105	108	108	10,15	42,56	15,6
678684	4457956	54138	106	100	130			

Tablo 4.4'ün devamı Kuyuların hidrolik özellikleri

X	Y	Kuyu ismi (DSİ)	Kuyu no	Kuyu kotu (m)	Derinlik (m)	Statik su seviyesi (m)	Dinamik su seviyesi (m)	Verim (l/s)
679454	4451300	8066	107	139	147,5	16	22,16	7,3
679741	4452423		108	115				
679859	4451284		109	161				
680369	4451506	18841	110	137	100	3,9	20,82	30,24
680387	4451561	18842	111	134	111	1	20,1	30,11
680449	4451670	18843	112		102	0,65	13,46	32,13
680609	4451298		113	152				
680866	4455420	13347-B	114	91	195,8	ART 0,7	15,98	35
681050	4451570	25215	115	135	95,6			
681088	4451543	25214	116	128	94	14,2	26,75	33,81
681390	4451578	7534	117	130	190			
681475	4451755	18844	118	124	92,5	4,65	14,5	40,19
681617	4451453	7934	119		74	0	5,25	44,8
681757	4452460	30353	120	87	104	12,1	29,25	42,08
681814	4451761	20362	121	120	100	6,17	11,63	52,4
681864	4452542	30352	122	103	90	6	29,8	42,84
681909	4451258	48617	123	145	76			
681926	4455852		124	94				
682241	4453489		125	114				
682355	4453934	49977	126	90	112			
682369	4453379	49975	127	98	110			
682422	4454713	56302	128	105	110			
683414	4452405	49980	129	125	110			
683613	4453812		130	105				
683681	4458582	8081	131	90	116,8	2,52	17,51	2,4
683686	4451545	20344	132	152	85	11,99	17,74	20,81
683908	4452029		133	141				
684427	4451991	31661	134	147	70	11,25	20,42	29,42
684620	4453481		135	117				
685060	4452128		136	140				
685067	4455096	13348-A	137	93	81,4	ART 2,1	21,76	27,5
685094	4455162	13348-B	138	94	205			35
685646	4454904		139	93				
685718	4452239	24753	140	147	100			
685862	4452505	12877	141	124	50	ART 0,58	6,57	36

Tablo 4.4'ün devamı Kuyuların hidrolik özellikleri

X	Y	Kuyu ismi (DSİ)	Kuyu no	Kuyu kotu (m)	Derinlik (m)	Statik su seviyesi (m)	Dinamik su seviyesi (m)	Verim (l/s)
685890	4451898	8082	142	138	93	12,77	14,18	15,65
686074	4453528		143	103				
686139	4452690	18493	144	118	50	2,5	11	36
686214	4452687	18494	145	118	50	2,3	10,4	36
686350	4452732		146	136				
686350	4452732		147	136				
686852	4453157		148	116				
687023	4452996		149	117				
687341	4451714		150	148				
687505	4452283	46871	151	117	85			
687589	4452181		152	118				
687825	4452082		153	113				
688195	4451967	34472	154	150	100			
692256	4454757	7532-A	155	88	117,4	ART 20,11		
692390	4454757	7532-B	156	91	190,24	ART 8,02		
693246	4454177	58375	157	102	150	0,75	22	42,08
693302	4453976	58374	158	102	141	8	26,18	43,22
693729	4455526	9813	159	99	116,6	ART 2,32	14,04	6,2
694365	4453839	15605	160	104	102,8	ART 0,4	19,61	15
694684	4454535	15601	161	103	198	ART 0,3	11	22,5
694758	4453827	15604	162	108	147,8	ART 0,3	21,98	38,5
694807	4453455	16334	163	112	137	1,29		
694917	4453585	56794	164	120	90	14,6	18,5	37,17
695207	4453790	15598	165	115	180	3,28	18,99	33,9
695245	4456034	15602	166	143	179,8			
695258	4456011	53722	167	120	138	7,8	20,68	35,28
695354	4456351	57995	168	119	147	16,3	34,45	27,09
695362	4453891	57685	169	116				
695363	4456597	49715	170	124	212	4,3	31,8	17
695407	4453735	15596	171	117	111	6,43	6,68	24
695579	4456508	17352	172	125	146,5	9,68		34,2
695685	4453143	15593	173	125	99	25,89	33,06	27
695795	4453839	56795	174	124	93,3	13,76	16,46	36,8
695872	4454828	15599	175	110	192,9			
695895	4454928	53719	176	122	141	0,5	17,47	31,19

Tablo 4.4'ün devamı Kuyuların hidrolik özellikleri

X	Y	Kuyu ismi (DSİ)	Kuyu no	Kuyu kotu (m)	Derinlik (m)	Statik su seviyesi (m)	Dinamik su seviyesi (m)	Verim (l/s)
696078	4454578	52939-B	177	124	184	3,86	13,53	46,43
696236	4454340	15349	178					
696236	4454340	15349- B	179	118				
696247	4453505	25575	180	139	100			
696332	4455943	15603	181	116	147,2	3,8	41,2	7
696382	4454164	13349-A	182	121	66	5,52	18,28	18
696420	4454065	13349-B	183	123	170	6,06	20,79	40
696430	4453715	16335	184	129	74	19,14	20,25	35
696576	4453831	15607	185	129	165	ART 0,45	8,84	24
696910	4454189	15594	186	143	135,5			
697039	4454692	15597	187	118	140	4,2	25,46	19,5

4.5.3. Yeraltısuyu Beslenimi ve Boşalımı

4.5.3.1. Yeraltısuyu Beslenimi

Bursa Ovası geçirimli alüvyonla kapılıdır. Beslenimin büyük bir kısmı alüvyon üstüne düşen yağış ile drenaj alanından ovaya inen sel sularından yeraltına süzülme ile olmaktadır. Ayrıca ova çevresinde yer alan kireçtaşı ve mermerlere süzülen sular yeraltından yanal olarak alüvyonu besler. Ova güneyinde yer alan alüvyon konilerinin yüksek geçirgenliği ovanın besleniminde büyük etkendir (DSİ, 1973).

Yağıştan süzülme; alüvyonun özellikle ova çevresindeki litolojisi dikkate alınırsa, 709 mm yağışın %25'inin yeraltına süzüleceği kabul edilebilir. Alüvyon alanı 208 km^2 kadardır (DSİ, 1973).

$$\text{Beslenim} = \text{Ova alanı} \times \text{Yağış} \times \text{Yıllık süzülme miktarı} \quad (4.1)$$

$$208 \times 10^6 \times 0{,}709 \times 0{,}25 = 37 \times 10^6 \ m^3/yıl \quad (4.2)$$

Akıştan süzülme; Bursa Ovası'nın en büyük beslenmesi ovanın güneyindeki Uludağ'ı içine alan drenaj alanından yüzeysel akışla gelen suların iri elemanlı alüvyon konilerinden yeraltına süzülmesiyle olmaktadır. Güney drenaj alanında Bursa ve Uludağ istasyonlarının rasat ortalamalarına göre yıllık yağış 1115 mm ve sıcaklık 9,3^oC ve yüzeysel akışa geçen yağış miktarı 575 mm bulunmuştur. 350 km^2 genişliğindeki güney drenaj alanından akışa geçerek ovaya giren suyun %15'inin yeraltına süzülebileceği kabul edilmiştir (DSİ, 1973). O halde ova güneyinden gelen yüzeysel akıştan süzülme

$$\text{Beslenim} = \text{Beslenim alanı} \times \text{Yağış} \times \text{Yıllık süzülme miktarı} \quad (4.3)$$

$$350 \times 10^6 \times 0{,}575 \times 0{,}15 = 31 \times 10^6 \ m^3/yıl \quad (4.4)$$

Ovanın kuzeyinde yer alan drenaj alanının genişliği 235 km^2'dir. Bu bölgede yükseltinin az olması sebebiyle Bursa istasyonu meteorolojik değerleri alınmıştır. Yıllık ortalama yağış 709 mm, sıcaklık 14,4^oC ve yüzeysel akışa geçen su miktarı 300 mm bulunmuştur (DSİ, 1973). O halde ovanın kuzeyinden gelen yüzeysel akıştan alüvyona olan süzülme;

$$\text{Beslenim} = \text{Beslenim alanı} \times \text{Yağış} \times \text{Yıllık süzülme miktarı} \quad (4.5)$$

$$235 \times 10^6 \times 0{,}300 \times 0{,}15 = 11 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl} \quad (4.6)$$

Alüvyona yüzeysel akıştan toplam süzülen miktar; ovanın güneyi ve kuzeyinden süzülen miktarın toplamına eşittir.

$$31 \times 10^6 + 11 \times 10^6 = 42 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl} \quad (4.7)$$

Yan formasyonlardan beslenim; ova çevresinde yer alan kireçtaşı ve mermerlere süzülen sular yeraltından yanal olarak alüvyonu besler. Teorik olarak yıllık yeraltısuyu boşalımı beslenimine eşittir. O halde toplam boşalımla alüvyonun akıştan ve yağıştan olan beslenimi arasındaki fark alüvyonun yeraltından yanal beslenim miktarını verecektir.

$$115 \times 10^6 - (37 \times 10^6 + 42 \times 10^6) = 36 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl} \quad (4.8)$$

4.5.3.2. Yeraltısuyu Boşalımı

Nilüfer çayına yeraltısuyu boşalımı; çalışma sırasında Bursa Ovası'nı drene eden Nilüfer çayı ve kollarında yapılan ölçümlerde yeraltısuyundan büyük bir boşalımın olduğu tespit edilmiştir. Yağışın ve sulamanın olmadığı Ekim ayı sonlarında ovayı kat eden bütün derelerin debileri ölçülmüş ve derelerin ovaya giriş ve çıkışları arasındaki debi farkları tespit edilmiştir. Bu sırada yan derelerden ovaya karışan sularda ölçülmüş ve Nilüfer çayının Bursa Ovası'nı terk ettiği boğaza bir eşel konularak çayın debisi kontrol edilmiştir. Bu ölçümlere göre Nilüfer çayının ova girişinde ve yan derelerde akım sıfıra yakın veya çok azdır. Boşalma sahasında yeraltından çaya olan boşalma ile Nilüfer çayının debisi 2,3 m^3/s'ye çıkmıştır ve yıllık boşalımı $72{,}5 \times 10^6$ m^3/yıl'dır. Bu durum yeraltısuyundan çaya boşalım olduğunu göstermektedir (DSİ, 1973).

Yeraltından dışa akış; Bursa Ovası'nda Nilüfer çayında ölçülen yerüstü akımı dışında, nehir vadisi altından dışa yeraltısuyu akımı vardır (DSİ, 1973). Darcy'nin aşağıdaki formülü ile bu akım şu şekilde bulunmuştur.

$$Q = T \times İ \times G \quad (4.9)$$

Q=Yeraltısuyu akımı

T=Akiferin iletkenliği: Boşalma sahasına en yakın kuyu olan 7530 nolu Yeniceabat kuyusunun iletkenlik değeri 1200 m^3/gün/m'dir.

G=Boşalma kesiti uzunluğu: Nilüfer çayının Bursa Ovası'nı terk ettiği yerdeki 3 km boyunda ve 80 m eş yükselti eğrisidir.

İ=Yeraltısuyu eğimi: Su tablası eş seviye eğrilerinden 4/1000 olarak bulunmuştur.

$$Q=1200\times 4/1000\times 3\times 10^{3}\times 365=5\times 10^{6}\ m^{3}/s \quad (4.10)$$

Suni boşalım; Bursa Ovası'nda halkın ve işletmelerin açtığı 2000'i aşkın sığ ve derin kuyuyla yeraltısuyundan yaklaşık 70×10^{6} m^{3}/yıl'dır. Yeraltısuyu bilançosu kasım ayında yapıldığı için sulama ve buharlaşma ile olan kayıplar ihmal edilmiştir. Bu durumda yeraltısuyundan olan boşalım içme ve sanayide kullanılan $37{,}5\times 10^{6}$ m^{3}/yıl'dır (DSİ, 1973).

4.5.4. Yeraltısuyu Bilançosu

Bursa Ovası yeraltısuyu rezervinin yıllık beslenme ve boşalımına göre aşağıdaki bilanço hazırlanmıştır (Tablo 4.5) (DSİ, 1973).

Tablo 4.5 Su Bilançosu

BESLENİM	$\times 10^{6}$ m^{3}/yıl	BOŞALIM	$\times 10^{6}$ m^{3}/yıl
Akıştan	42.0	Nilüfer çayına	72.5
Yanal beslenim	36.0	Yeraltından dışa akış	5.0
Yağıştan süzülme	37.0	Suni boşalım	37.5
Toplam	115.0	Toplam	115.0

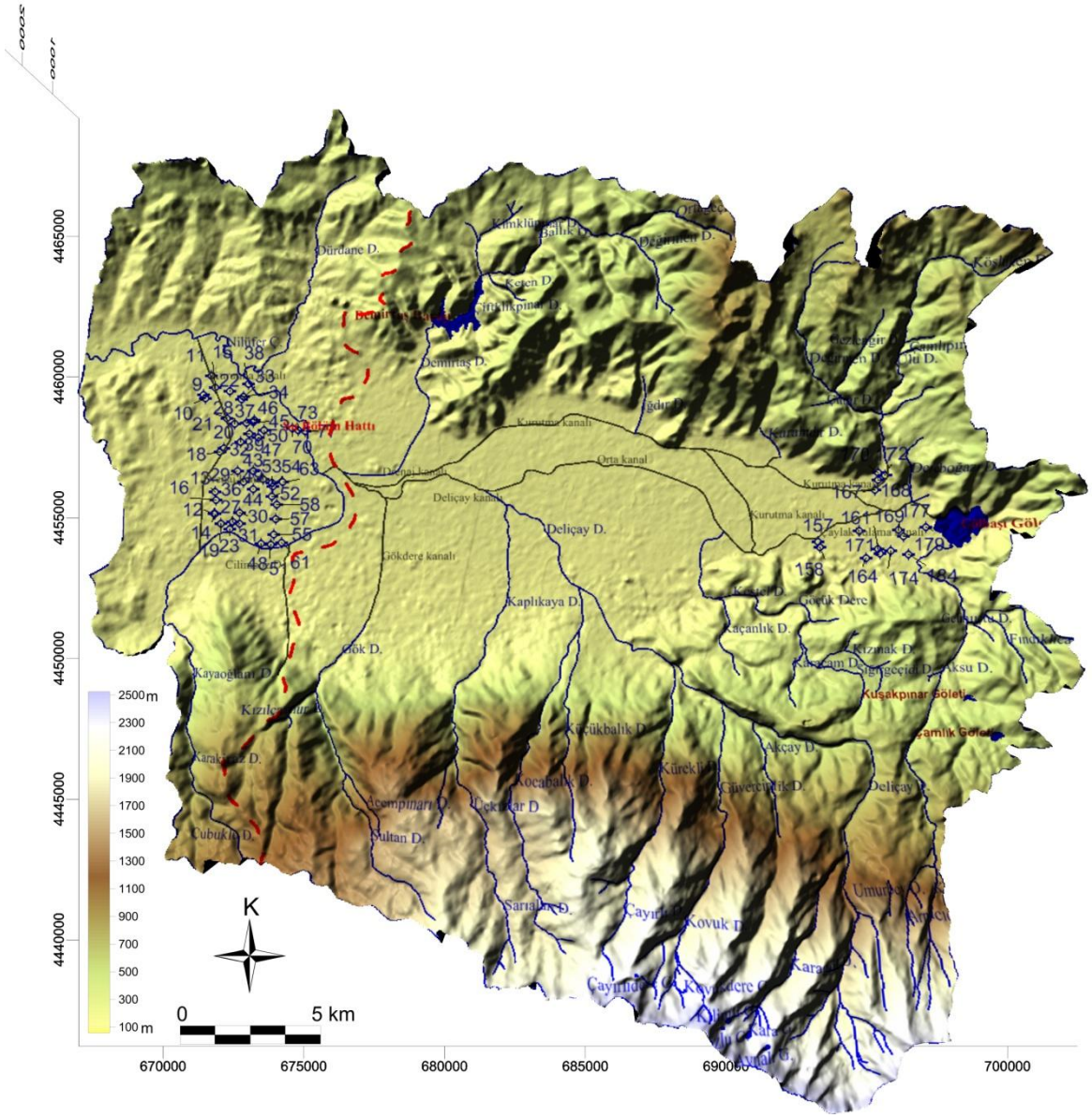
4.5.5. Yıllık Emniyetli Verim

Bursa Ovası'nda hesaplanan rezerv yeraltısuyu, boşalımın en düşük olduğu Kasım ayına aittir. Dolayısıyla boşalım miktarını yıllık emniyetli rezerv olarak kabul edebiliriz (DSİ, 1973).

4.6. HİDROJEOLOJİ

4.6.1. Yeraltısuyu

Bursa Ovası'nda yeraltısuyu seviye değişimlerini araştırmak amacıyla, ovanın batısında 46 adet sondaj kuyusu ile doğusunda 15 adet sondaj kuyusu olmak üzere toplam 61 adet sondaj kuyusunda (Şekil 4.51) yağışlı ve kurak dönemleri temsilen Kasım 2010 ve Mayıs 2011'de statik yeraltısuyu seviye değerleri kuyu başında ölçülmüştür (Şekil 4.52). Yüzeyden ölçülen statik yeraltısuyu seviyeleri, kuyuların deniz seviyesi yüksekliğinden çıkarılarak hesaplanmıştır. Tablo 4.6'da kuyu ağzı kot bilgileri ve iki döneme ait hesaplanmış statik yeraltısuyu seviye bilgileri verilmiştir.



Şekil 4.51 Bursa Ovası'nda yeraltısuyu ölçümü yapılan sondaj kuyuları



Şekil 4.52 Bursa Ovası'nda bulunan kuyulardan yeraltısuyu ölçümü

(soldaki 53 nolu, sağdaki 55 nolu kuyu)

Tablo 4.6 Kuyuların statik yeraltısuyu ölçümleri

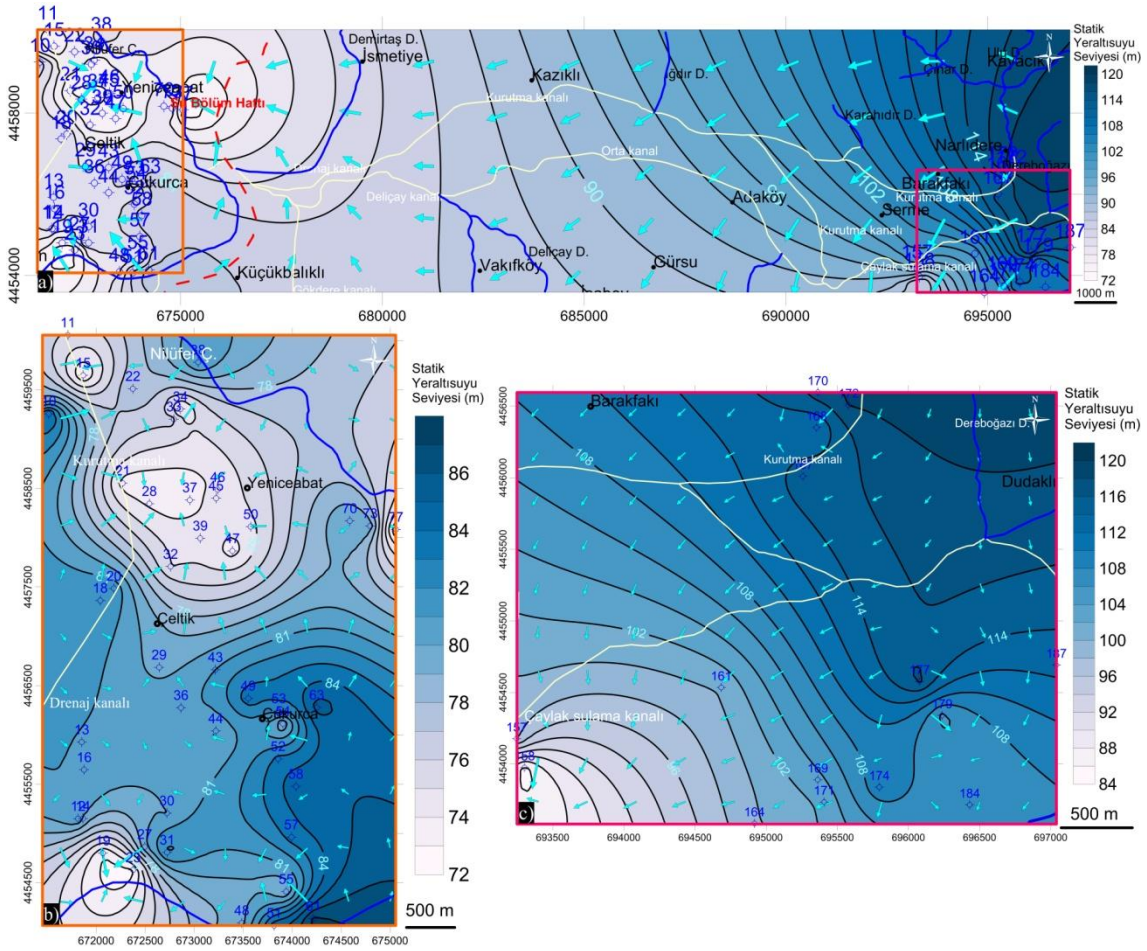
X	Y	Kuyu İsmi (DSİ)	Kuyu No	Kuyu Ağzı Kotu (m)	Kasım-2010	Mayıs-2011
671453	4459376	30169	9	85	79,6	
671515	4459258	58377	10	88	84,35	
671710	4460056	30507	11	83	75,85	
671814	4455149	32206	12	98	81	81,38
671852	4455926	32208	13	96	80,9	83
671864	4455150	32205	14	96	79,75	82,2
671866	4459648	30508	15	85	73	
671876	4455645	32207	16	96	80,75	83,4
672040	4457363	59022	18	82		71,35
672067	4454800	44129	19	90	73,1	75,6
672180	4457485	29988	20	91	81,8	79,55
672269	4458554	30509	21	85	73,6	75
672373	4459512	29989	22	84	78	78
672377	4454628	46877	23	90	72,8	75,2
672495	4454864	32209	27	96	79,7	82
672542	4458345	18772	28	83	73,86	72,86
672641	4456685	30500	29	91	79,6	81,8
672721	4455205	52109	30	94	80	82,4
672723	4454807	32210	31	98	82,25	84,7
672758	4457707	18777	32	84	75	76,4
672791	4459203	30506	33	82	76,3	77
672859	4459306	30168	34	83	73,7	75
672865	4456275	29987	36	92	81	
672955	4458382	18771	37	83	73,3	76
673039	4459780	30505	38	90	81,15	86,05
673061	4457994	18776	39	84	75,05	76,5
673217	4456661	30499	43	90	81	83
673220	4456039	30498	44	91	79,9	82,1
673223	4458400	18775	45	84	74,8	76,3
673240	4458488	18770	46	83	74,2	76,35
673389	4457866	18773	47	82	73,55	74,8
673486	4454091	48876	48	90	79,65	78,7
673551	4456370	30502	49	91	83,6	85,2
673577	4458111	18774	50	82	74,7	75,9
673815	4454065	29986	51	94	84,65	82,6
673856	4455756	30497	52	93	83,32	85,2

Tablo 4.6'nın devamı Kuyuların statik yeraltısuyu ölçümleri

X	Y	Kuyu İsmi (DSİ)	Kuyu No	Kuyu Kotu (m)	Kas.10	May.11
673864	4456242	30501	53	91	82,45	81,95
673906	4456112	56584	54	88	79,1	80,5
673939	4454409	55063	55	84	79	74,7
673993	4454962	30165	57	95	83,4	85,6
674038	4455475	52430	58	94	84,6	87
674216	4454136	58870	61	97	87,2	87,65
674251	4456278	30161	63	93	85,45	87,2
674587	4458171	30504	70	87	80	81,3
674796	4458120	58376	73	87	79,7	82,96
675059	4458083	30503	77	81	71,86	71,8
693246	4454177	58375	157	102	98,2	
693302	4453976	58374	158	102	85,5	
694684	4454535	15601	161	103	100,3	
694917	4453585	56794	164	120	99,75	103,55
695258	4456011	53722	167	120	115,1	114,75
695354	4456351	57995	168	119	112	
695362	4453891	57685	169	116	103,36	106,5
695363	4456597	49715	170	124	117	115
695407	4453735	15596	171	117	102,5	106,5
695579	4456508	17352	172	125	118,08	117,85
695795	4453839	56795	174	124	109,3	113,15
696078	4454578	52939-B	177	124	116,25	119,6
696236	4454340	15349- B	179	118	105,6	
696430	4453715	16335	184	129		118,175
697039	4454692	15597	187	118	112,6	

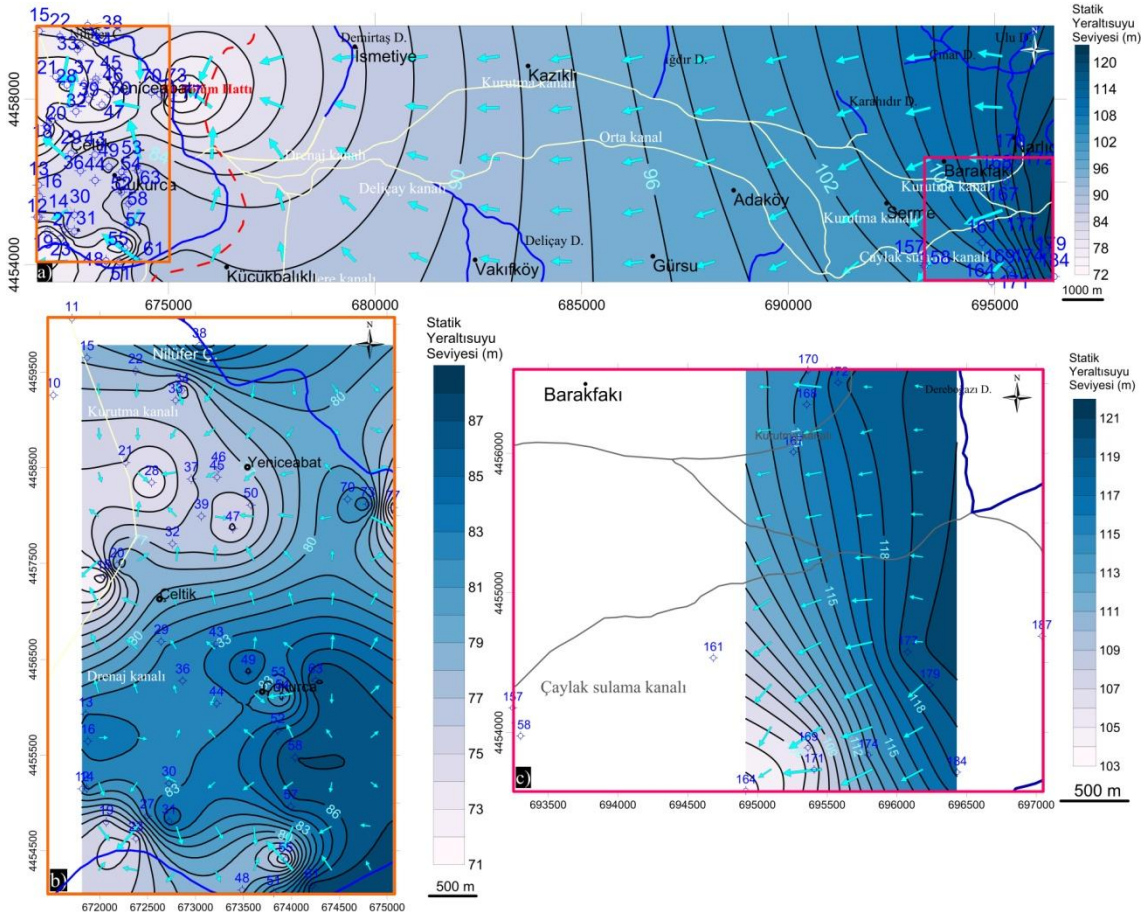
Bursa Ovası'nda Kasım-2010 ve Mayıs-2011 dönemlerinde yapılan yeraltısuyu ölçümlerine göre yeraltısuyu beslenimi doğudan ve güneyden batıya doğrudur (Şekil 4.53 a ve 4.54 a).

Kasım-2010 döneminde Yeniceabat çevresinde ve Çukurca'nın güneydoğusunda fazla çekim yeraltısuyu seviyesini düşürmektedir (Şekil 4.53 b). Ovanın doğusunda ise yeraltısuyu seviyesi batısına oranla daha fazladır (Şekil 4.53 c).

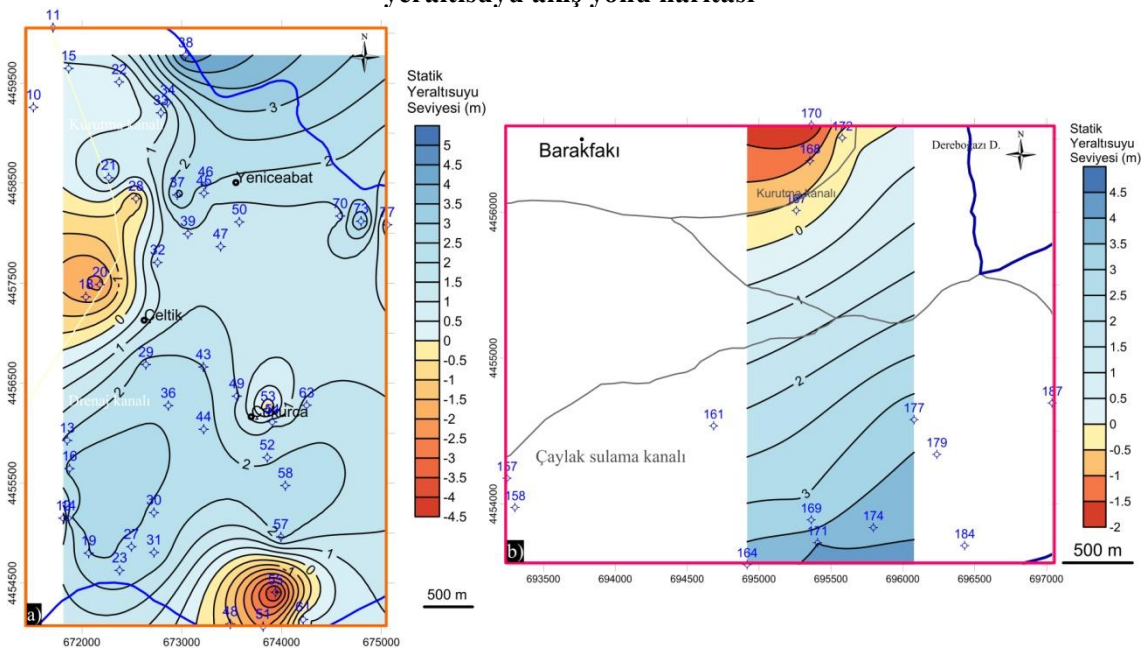


Şekil 4.53 a) Bursa Ovası Kasım-2010 dönemine ait yeraltısuyu akış yönü haritası, b) Ovanın batısının detaylı yeraltısuyu akış yönü haritası, c) Ovanın doğusunun detaylı yeraltısuyu akış yönü haritası

Mayıs-2011 döneminde ovanın batısında beslenim güneydoğudan doğuya ve kuzeye doğrudur (Şekil 4.54 b). Ovanın doğusunda yeraltısuyu akışı doğudan güneybatıya doğrudur (Şekil 4.54 c). Mayıs-2011 döneminde bir önceki dönem olan Kasım-2010'da olduğu gibi fazla çekim yapılan kuyularda yeraltısuyu seviyeleri düşmektedir. Ancak, beslenimin Mayıs-2011 döneminde artmasıyla yeraltısuyu seviyeleri yükselmiştir. Alanda Kasım-2010 ve Mayıs-2011 dönemlerinde ölçülen yeraltısuyu seviye farkı Şekil 4.55'te gösterilmiştir. Şekil 4.55 a'da batı alanın güneyi ve batısında yeraltısuyu seviyeleri azalırken kuzeyinde seviye artmıştır. Şekil 4.55 b'de ise doğu alanın kuzeyinde yeraltısuyu seviyeleri azalmıştır.



Şekil 4.54 a) Bursa Ovası Mayıs-2011 dönemine ait yeraltısuyu akış yönü haritası b) Ovanın batısının detaylı yeraltısuyu akış yönü haritası, c) Ovanın doğusunun detaylı yeraltısuyu akış yönü haritası



Şekil 4.55 a) Ovanın batısında Mayıs-2011 ve Kasım-2010 dönemleri arasında yeraltısuyu seviye farkı b) Ovanın doğusunda Mayıs-2011 ve Kasım-2010 dönemleri arasında yeraltısuyu seviye farkı

4.6.2. Litolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

4.6.2.1. Birincil Gözenekli Geçirimli Birimler (Gç1)

İnceleme alanında tutturulmamış, gevşek tutturulmuş, genellikle blok, çakıl ve kum yığışımlarından oluşan yamaç molozu ve tutturulmamış, bazen gevşek tutturulmuş, kötü boylanmalı, siltli, killi, az yuvarlak, blok, çakıl ve kumdan oluşan akarsu yelpazesi çökelleri birincil gözenekliliğe sahip geçirimli birimlerden daha yüksek geçirimli olan birimlerdir ve hidrojeoloji haritasında koyu mavi renkle gösterilmiştir.

4.6.2.2. Birincil Gözenekli Geçirimli Birimler (Gç2)

İnceleme alanında kumtaşı, konglomera, kiltaşı ve marndan oluşan Göktepe formasyonu, konglomera, kumtaşı ile killi-kumlu kireçtaşı, çamurtaşı ve marndan oluşan Köprühisar formasyonu, tutturulmamış, çakıl, kum, silt ve kilden oluşan alüvyon birincil gözenekliliğe sahip geçirimli birimlerdir. Bu birimler hidrojeoloji haritasında açık mavi renkle gösterilmiştir.

4.6.2.3. İkincil Gözenekli Geçirimli Birimler (Gçy1)

İnceleme alanında sık eklemli ve çatlaklı mermerlerden oluşan Çataltepe mermeri ve kırık ve eklem sistemleri iyi gelişmiş ve kalsit dolgulu olan kireçtaşlarından oluşan Bilecik kireçtaşı görece yüksek geçirimli birimlerdir ve hidrojeoloji haritasında koyu yeşil renkle gösterilmiştir.

4.6.2.4. İkincil Gözenekli Geçirimli Birimler (Gçy2)

İnceleme alanında bazen masif, kırıklı, eklemli, yer yer erime boşluklu, erime yüzeyli mermerlerden oluşan Uludağ mermeri, rekristalize kireçtaşlarından oluşan, bazı yerlerde killi kumlu kireçtaşı ve kumtaşları içeren Yörüktepe formasyonu, resifal kireçtaşı ile karasal konglomeralardan oluşan Güneytepe formasyonu, kireçtaşı ve kumlu kireçtaşından oluşan Kayacıkçayırı formasyonu ve Travertenler görece düşük geçirimliliğe sahip ikincil gözenekli birimlerdir. Bu birimler hidrojeoloji haritasında açık yeşil renkle gösterilmiştir.

4.6.2.5. Az Geçirimli Birimler (Gçz1)

İnceleme alanında konglomera, kumtaşı, feldispatlı kumtaşı, mikalı kumtaşı, grovak, silttaşı, kiltaşı, kireçtaşı ardalanımlı, radyolarit, diyabaz ve spilit ara katkılı litolojiden oluşan Avdancık formasyonu, konglomera, kiltaşı, mikalı kumtaşından oluşan Iğdır formasyonu, çakıltaşı, kumtaşı, kireçtaşı ve kiltaşlarından oluşan Bayırköy formasyonu, killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, konglomeratik kireçtaşı, kireçtaşı, kiltaşı ve marndan

oluşan Yarhisar formasyonu, killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, kireçtaşı ve marndan oluşan ve yer yer karbonatlı kumtaşı, çok az çakıltaşı ve kumtaşı içeren Koyunhisar formasyonu, çakıltaşı, kumtaşı, kireçtaşı, marn, kiltaşı, tüf, silttaşı, çamurtaşı ardalanımlı, tüf ara katkılarından oluşan Paşayayla formasyonu, karbonatlı kumtaşı, kumlu kireçtaşı, killi kireçtaşı, kireçtaşı, çakıltaşı ve kiltaşından oluşan Eğerce formasyonu, konglomera, çamurtaşı, kumtaşı ve kireçtaşından oluşan Sarıkaya formasyonu, Granitoyidler, kumtaşı, silttaşı, kiltaşı, marn ve kireçtaşından oluşan Mudanya formasyonu, volkanik kumtaşı, konglomera, tüf ve aglomeralardan oluşan Karacaoba formasyonu az geçirimli özellikteki birimlerdir ve hidrojeoloji haritasında açık kahve renkle gösterilmiştir.

4.6.2.6. Geçirimsiz Birimler (Gçz2)

İnceleme alanında gnays ile az oranda amfibolitlerden oluşan Uludağ metamorfitleri, serpantinit, metabazit, metadetritik, amfibolit blok ve dilimlerinden oluşan Metaultramafitler, metabazit ve metapelitik kayalardan, az oranda da kalkşistten oluşan Nilüfer formasyonu, spilit, spilitik bazalt, çamurtaşı, spilitik kumtaşı, radyolarit, diyabaz ve kireçtaşından oluşan Abadiye formasyonu ve bazalttan oluşan Çanakpınar bazaltı birincil ve/veya ikincil gözenekliliğe sahip olmayan geçirimsiz özellikteki birimlerdir ve hidrojeoloji haritasında koyu kahve renkle gösterilmiştir.

4.6.3. Yeraltısuyu İşletmesine Uygun Alanlar

Bursa Ovası'nın orta ve doğu kesiminde alüvyonun kalınlığı 140-200 m kadardır ve özellikle bu alanda artezyen verimi 20-35 lt/s olan verimli artezyen akiferler bulunmaktadır. Ova alanının kuzeyi ve kuzeydoğusunda alüvyon yaklaşık 100 m kalınlığında, ince elemanlı, derecelenmesi bozuk ve porozitesi düşük olduğundan dolayı yeraltısuyu işletmesine fazla elverişli değildir. Bu alanda kuyu verimleri 10 lt/s'yi geçmemektedir. Ova alanının batısı ve kuzeybatısında ise alüvyon kalınlığı 150-200 m kadardır ve bu alan ovanın verimli alanlarıdır (DSİ, 1973).

Ova alanında yeraltısuyu işletmesine en uygun alan 100 m kalınlığında olan yamaç molozu ve 20 m kalınlığında olan akarsu yelpazesinin oluşturduğu bölgedir. Bu alanda açılacak olan kuyularda ortalama 50 lt/s debi ve 10-15 m civarında dinamik seviyeye ulaşılabilecektir (DSİ, 1973).

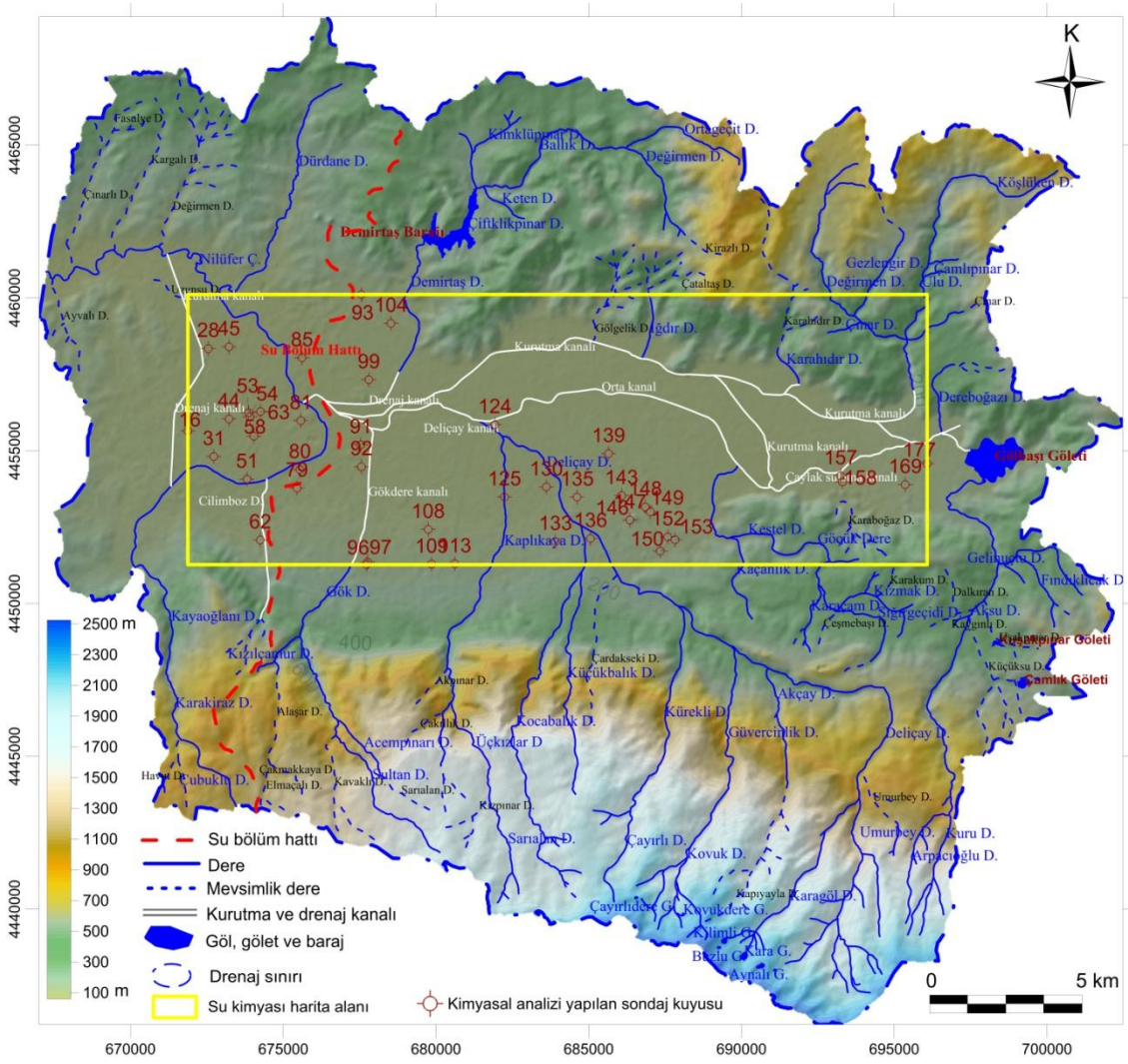
4.7. SU KİMYASI

4.7.1. Soğuk Suların Kimyasal Özellikleri

Bursa Ovası'nda bulunan 187 adet sondaj kuyusundan, Şekil 4.56'da sarı çerçeve içerisinde yer alan, 44 adet sondaj kuyusunun kimyasal analizi yapılmıştır. Suların içme suyu standartlarına göre sınıflaması Tablo 4.7'de verilmiştir. Bu standartlardan TS-266 içme suyu standardı kuyu sularının kimyasal verileriyle karşılaştırılmıştır.

Sondaj kuyularından Eylül-2011 döneminde alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları Tablo 4.8'de gösterilmiştir. Kuyu suları için yapılan analizlerin yorumlanmasında yardımcı olabilecek olan kontur haritaları Surfer 9.0 programında hazırlanmıştır. Hazırlanan haritaların sınırı Şekil 4.56'da gözlenen sarı çerçeveli alanı kapsamaktadır.

Ayrıca, soğuk su kaynaklarının ve akarsuların kimyasal analiz sonuçları sırasıyla Tablo 4.9 ve 4.10'da gösterilmektedir. Ancak bu analizlerin eski ve yetersiz oluşu nedeniyle yorumlamada kullanılmamıştır.



Şekil 4.56 Kimyasal analizi yapılan sondaj kuyuları

Tablo 4.7 İçme suyu standartları

	Türk Standartları TSE 266	Dünya Sağlık Örgütü WHO	ABD Çevre Koruma Ajansı EPA
İNORGANİK KİMYASAL MADDELER (mg/l)			
Alüminyum, Al	0,2	0,2	
Arsenik, As	0,05	0,05	0,05
Baryum, Ba	0,3		1
Kadmiyum, Cd	0,01	0,01	0,01
Krom (Toplam)	0,05	0,05	0,05
Florür, F	1,5	1,5	0,7-2,4
Kurşun, Pb	0,05	0,05	0,05
Civa, Hg	0	0	0
Nitrat, NO3	50	50	45
Nitrit, NO2	0,05		
ESTETİK PARAMETRELER (mg/l)			
Klorür, Cl	600	250	250
Renk (Birim)	20	15	15
Bakır, Cu	3		1
Deterjanlar	0,2		0,5
Demir, Fe	0,2		0,3
Mangan, Mn	0,05	0,5	0,05
Koku Eşik Değeri (Birim)			3
pH	6,5-9,2	6,5-8,8	6,5-8,5
Sülfat, SO4	250	250	250
TDS	1500	1000	500
Çinko, Zn	5		5
İLAVE PARAMETRELER (mg/l)			
Kalsiyum, Ca	200		
Sertlik, CaCO3		500	
Magnezyum, Mg	50		
Potasyum, K	12		
Sodyum, Na	175	200	
Bakiye Klor	0,1-0,5	5	
Amonyum, NH4	0,05-0,5	1,5	

Tablo 4.8 Bursa Ovası'nın kuyu sularının kimyasal analiz sonuçları

Kuyu no	Ph	EC (µmho/cm)	TDS (mg/l)	Na^{+} (mg/l)	K^{+} (mg/l)	Ca^{+2} (mg/l)	Mg^{+2} (mg/l)	HCO_3^{-} (mg/l)	Cl^{-} (mg/l)	SO_4^{-2} (mg/l)	%Na	SAR	Suyun Sınıfı	Sertlik Dh^0 (Fr0)	NO_2 (mg/l)	NO_3 (mg/l)	NH_4^{+} (mg/l)
16	6,65	754	483	66,6	1,51	112	47,8	365,8	15,3	68,7	23,1	1,32	C3S1	26,8	0,019	21,1	0,141
28	6,77	814	521	118	2	109	46,3	408,5	8,92	91,1	35,4	2,4	C3S1	25,9	0,032	12,3	0,155
31	7,48	817	523	90,6	1,89	99,2	36,3	426,8	5,88	73,3	32,8	1,96	C3S1	22,3	0,019	25,8	0,18
44	6,85	1254	803	98,2	1,54	150	81,6	451,2	26,1	235	4,94	0,66	C3S1	39,9	0,028	55,4	0,147
45	6,63	816	522	45,8	1,53	90,8	43,3	378,0	17,8	94,6	19,5	0,98	C3S1	22,7	0,024	17,4	0,114
51	7,05	1019	652	85	2,23	156	24,8	487,8	43,7	65,7	27,1	1,66	C3S1	27,6	0,03	8,5	0,18
53	6,86	1057	676	90,5	1,61	156	75,4	365,9	25,2	182	21,7	1,48	C3S1	39,3	0,032	47,7	0,163
54	7,25	965	618	102	1,56	134	49,1	360,2	23,8	140	29	1,9	C3S1	30,1	0,028	26,8	0,141
58	6,83	1486	951	58,8	3,38	182	103	609,8	110	262	12,5	0,85	C3S1	49,3	0,029	52,7	0,166
62	6,69	681	436	72,2	2,78	113	9,98	341,5	0,613	65,1	32,3	1,73	C2S1	18,2	0,026	7,0	0,186
63	6,93	1146	733	83,8	1,45	149	64,4	432,9	21,6	209	22	1,43	C3S1	35,8	0,033	42,4	0,161
79	7,42	645	413	59,7	2,67	107	9,12	323,2	16,2	61,3	29,5	1,48	C2S1	17,1	0,027	22,1	0,184
80	6,75	670	429	64,2	2,01	120	19,6	292,7	12,9	62,3	26,6	1,42	C2S1	21,3	0,021	34,3	0,186
81	7,57	390	250	61,3	1,59	47,4	11,9	189,0	3,6	59,7	43,8	2,05	C2S1	9,39	0,022	0,8	0,152
85	6,73	581	372	69,2	1,48	85,1	15	195,1	20,1	66,1	35,1	1,8	C2S1	15,4	0,025	17,0	0,147
91	6,91	1790	1146	85,6	2,66	254	114	609,8	212	184	14,3	1,11	C3S1	61,9	0,905	1,6	0,162
92	7,65	617	395	64	1,45	89,9	16,5	243,9	13,2	71,3	31,9	1,62	C2S1	16,4	0,211	13,6	0,173
93	6,73	846	541	59,7	1,82	105	41,8	426,8	22,5	63,7	22,7	1,23	C3S1	24,3	0,024	23,2	0,17
96	6,75	940	602	60,2	1,59	165	16	426,8	41,1	83,3	21,3	1,19	C3S1	26,9	0,032	31,7	0,155
97	6,85	934	598	56,6	1,28	188	13,1	304,9	20,4	82,54	18,9	1,07	C3S1	29,4	0,03	83,7	0,142
99	6,71	591	378	70	1,52	94	32	353,7	18,3	60,1	29,1	1,58	C2S1	20,6	0,026	1,9	0,118

Tablo 4.8'in devamı Bursa Ovası'nın kuyu sularının kimyasal analiz sonuçları

Kuyu no	Ph	EC (µmho/cm)	TDS (mg/l)	Na^{+} (mg/l)	K^{+} (mg/l)	Ca^{+2} (mg/l)	Mg^{+2} (mg/l)	HCO_3^{-} (mg/l)	Cl^{-} (mg/l)	SO_4^{-2} (mg/l)	%Na	SAR	Suyun Sınıfı	Sertlik Dh^0 (Fr0)	NO_2 (mg/l)	NO_3 (mg/l)	NH_4^{+} (mg/l)
104	6,86	893	572	54,5	2,43	152	37,1	414,6	14,6	69,9	18	1,02	C3S1	29,8	0,031	37,2	0,15
108	6,89	800	512	47,3	1,56	133	16,9	298,8	26,5	86,9	20,1	1,02	C3S1	22,6	0,035	68,4	0,187
109	6,9	778	498	82,9	2,13	131	8,75	250,0	17,5	76,5	32,9	1,88	C3S1	20,5	0,025	63,0	0,159
113	7,81	427	273	78,3	1,28	49,3	12,3	280,5	4,28	62,6	49,13	2,57	C2S1	9,74	0,021	23,2	0,144
124	6,98	399	255	51,6	1,91	59	2	207,3	4,83	57,3	41,4	1,79	C2S1	8,74	0,03	1,9	0,136
125	6,87	486	311	54	1,51	111	14,8	201,2	3,5	59,8	25,5	1,27	C2S1	19	0,027	10,7	0,16
130	6,9	308	197	48,7	1,44	43	1,19	195,1	1,9	57,5	47,9	1,99	C2S1	6,31	0,027	1,2	0,165
133	6,96	507	324	122	1,64	67,5	5,61	365,9	1,98	65,5	57,7	3,82	C2S1	10,8	0,023	20,6	0,195
135	6,75	432	276	75,1	1,84	74,2	7,65	274,4	3,23	64,7	42,6	2,21	C2S1	12,2	0,167	2,4	0,146
136	6,96	304	195	62,2	1,68	44,5	0,625	103,7	4,7	62,5	53,7	2,53	C2S1	6,39	0,022	3,2	0,149
139	7,13	495	317	62,2	1,46	74,5	7,69	384,1	59,1	63,4	38	1,82	C2S1	12,2	0,022	4,5	0,179
143	7,61	818	524	59,4	1,83	137	20,4	341,5	65,9	126	23	1,24	C3S1	23,9	0,025	3,9	0,154
146	7,1	626	401	53,1	1,95	111	20,1	256,1	72,1	73	24	1,21	C2S1	20,1	0,023	18,5	0,174
147	6,79	1027	657	58,7	2,54	171	37	329,3	89,7	83,7	17,8	1,05	C3S1	32,6	0,028	27,3	0,154
148	7,12	1060	678	49,1	1,97	141	29,4	298,8	119	112	0,18	0,97	C3S1	26,6	0,021	4,8	0,156
149	6,75	885	566	52,5	1,97	164	33,7	304,9	68,4	109	17	0,97	C3S1	30,8	0,029	8,6	0,097
150	6,65	796	509	65	2,27	171	22,7	329,3	67,9	88,7	21,1	1,23	C3S1	29,2	0,025	52,7	0,182
152	6,77	919	588	58,1	1,31	218	28,8	335,4	74,1	97,8	15,8	0,97	C3S1	37,2	0,031	16,8	0,15
153	6,65	1116	714	58,2	2,13	195	34,7	372,0	83,1	129	16,6	1	C3S1	35,3	0,026	13,4	0,167
157	6,96	554	355	122	1,86	65,1	17,9	268,3	8,7	79,1	52,5	3,44	C2S1	13,3	0,029	5,4	0,177
158	6,71	753	482	65,2	2,13	118	28,2	347,6	4,05	78,4	25,4	1,39	C3S1	23,1	0,024	28,4	0,165
169	7,09	738	472	53,4	2,15	99,4	31	378,0	3,04	75,5	23,3	1,19	C2S1	21,1	0,087	23,6	0,169
177	6,94	1001	641	118	1,48	134	47,7	451,2	5,1	98,1	32,3	2,22	C3S1	29,8	0,029	72,5	0,129

Tablo 4.9 Bursa Havzası'ndaki kaynakların kimyasal analizleri

Kaynağın ismi	Karapınar	Pınarbaşı
Ph	8,1	7,7
EC	313,3	347,8
Na (mg/l)	0,11	0,38
K (mg/l)	0,06	0,07
Ca+Mg (mg/l)	3,64	3,54
CO3 (mg/l)	0,16	0
HCO3 (mg/l)	3,27	3,39
Cl (mg/l)	0,05	0,17
SO4	3,33	0,43
%Na	2,89	9,52
SAR	0,08	0,29
Suyun Sınıfı	C2S1	C2S1
Sertlik	18	28,2
Toplam tuz	275	454

Tablo 4.10 Bursa Havzası'ndaki derelerin kimyasal analizleri

Suyun ismi	Nilüfer geçit	Aksu deresi	Deliçay	Gölbaşı Çıkış
Ph	8,3	8,2	8,4	8
EC	320	160	300	500
Na (mg/l)	0,39	0,1	0,34	0,34
K (mg/l)	0,05	0,04	0,04	0,06
Ca+Mg (mg/l)	3,2	1,8	3,2	5,5
CO3 (mg/l)	0,56	0,28	0,72	0,2
HCO3 (mg/l)	2,22	1,26	2,22	4,56
Cl (mg/l)	0,3	0,12	0,1	0,2
SO4 (mg/l)	0,56	0,28	0,54	0,94
%Na	10,71	5,15	9,49	5,76
SAR	0,3	0,1	0,26	0,2
Suyun Sınıfı	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1

4.7.1.1. Hidrojen İyon Konsantrasyonu (pH)

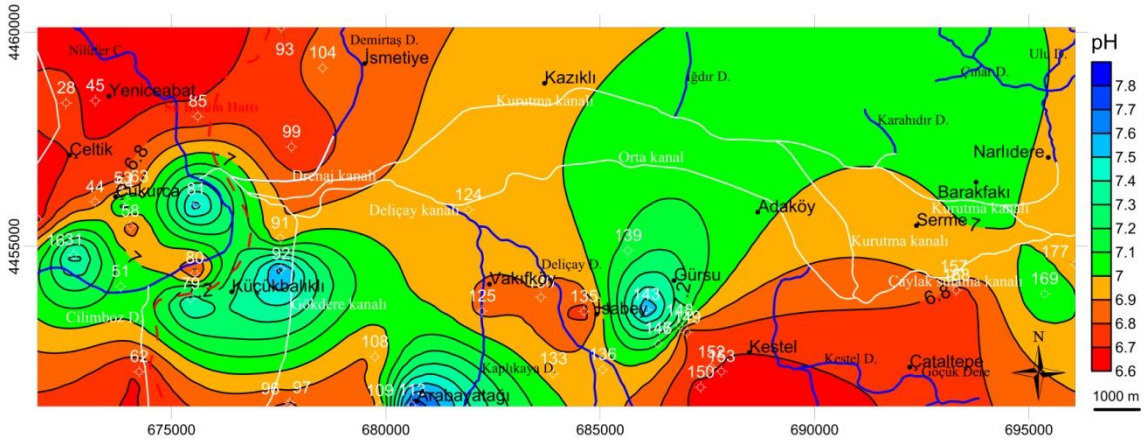
Hidrojen iyon konsantrasyonu, su içerisinde bulunan hidronyum ve hidroksil iyon konsantrasyonlarına bağlı olan asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösterir. Sudaki karbonat, hidroksit ve bikarbonat iyonları suyun bazik özelliğini arttırırken, serbest mineral asitleri ve karbonikasit suyun asit özelliğini arttırmaktadır. Doğal yeraltı sularının pH değeri 6.0-8.5 arasında değişir (Doğan, 1981).

Düşük pH'a sahip sular aşındırıcı özellikler gösterirken, yüksek pH'a sahip sular kabuk bağlayıcıdır. pH'a göre sınıflandırma şu şekildedir;

Tablo 4.11 Suların pH'a göre sınıflandırılması

pH	Sınıfı
>8	Bazik
8,5-7	Bazik karakterli
7	Nötr
7-4,5	Asit Karakterli
<4,5	Asidik

Çalışma alanında Arabayatağı, Gürsu, Küçükbalıklı ve Çukurca civarlarında kuyu suları (31, 51, 54, 79, 81, 92, 113, 139, 146, 148, 143, 169) pH'ı 7,05-7,81 arasında değişmekte olup, bazik karakterlidir. Diğer alanlarda ise kuyu sularının pH'ı 6,63-6,98 arasında olup, asit karakterlidir. Şekil 4.57'de kırmızı ve turuncu alanlar asit karakterli, yeşil ve mavi alanlar ise nötr ve bazik karakterli suların bulunduğu bölgeleri göstermektedir.



Şekil 4.57 Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının pH haritası

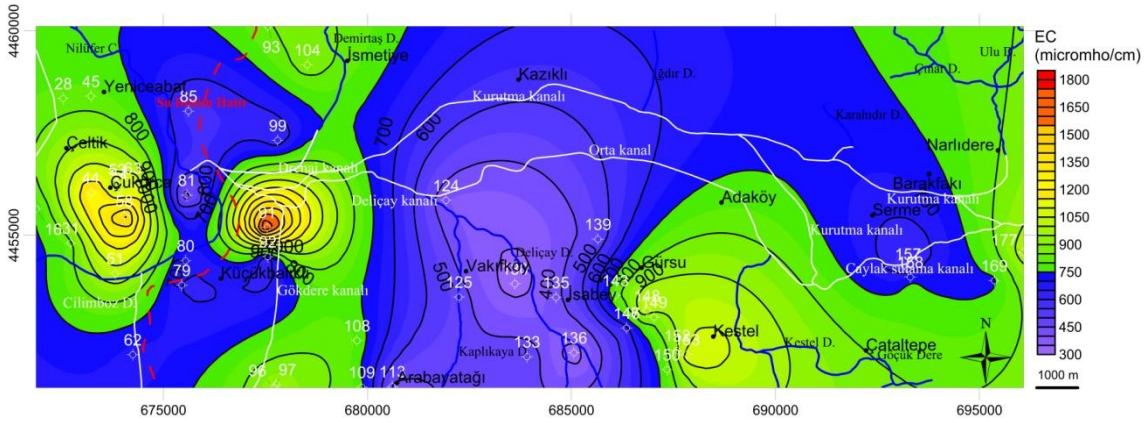
4.7.1.2. Özgül Elektriksel İletkenlik (EC)

Elektriksel iletkenlik, cisimlerin elektriği geçirme özelliğinin sayısal ifadesidir. Suların elektriksel iletkenlik değerleri, mikromho/cm (µmho/cm) veya mikrosiemens/cm (µS/cm) olarak ve 25°C'deki değeri hesaplanarak verilmektedir. Suların özgül elektriksel iletkenliği iyonların suda varlığına, suların yeryüzüne çıkıncaya kadar izledikleri yola, temasta oldukları kayacın cinsine, kayaçların çözünürlüklerine, suyun sıcaklığına, bölgedeki iklim ve yağış koşullarına bağlıdır. Sıcaklık artışı ve sudaki iyonların derişimi ile suların elektriksel iletkenlikleri arasında doğru orantı mevcuttur. Dolayısıyla elektriksel iletkenlik ölçümleri sudaki toplam iyon konsantrasyonu hakkında iyi bir göstergedir (Day ve Nightingale, 1984; Hem, 1985). Saf su, elektriği çok az geçirir ve özgül elektriksel iletkenlik değeri 0,5-5 µmch/cm, içme sularının özgül elektriksel iletkenliği ise 30-2000 µmch/cm'dir. Suların özgül iletkenlik (EC) değerine göre sınıflandırılması Tablo 4.12'de verilmektedir.

Tablo 4.12 Suların özgül elektriksel iletkenlik (EC) değerine göre sınıflandırılması (Erguvanlı & Yüzer, 1973)

EC (mikromho/cm)	Sınıf
<250	Çok İyi
250-750	İyi
750-2000	Kullanılabilir
2000-3000	Şüpheli
>3000	Kullanılamaz

Havzada elektriksel iletkenlik değeri 304-1790 µmho/cm arasında olup Erguvanlı ve Yüzer (1973) sınıflamasına göre 62, 79, 80, 81, 85, 92, 99, 113, 124, 125, 130, 133, 135, 136, 139, 146, 157, 169 no'lu kuyu suları ''İyi'' sınıfında olup, diğer kuyu suları ''Kullanılabilir'' sınıfındadır. Şekil 4.58'de haritanın mor ve mavi alanlarının elektriksel iletkenlik (EC) değeri diğer alanlara oranla daha azdır; kırmızı alan ise EC değerinin en yüksek olarak gözlendiği alandır.



Şekil 4.58 Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının EC (µmho/cm) haritası

4.7.1.3. Toplam Çözünmüş Katı (TDS)

Toplam çözünmüş katı miktarı, belirli hacimdeki suyun buharlaştırılarak içinde çözünmüş halde bulunan sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, bikarbonat, klor, sülfat gibi inorganik tuzlar ve daha az bulunan organik maddelerin tartılması ile belirlenir. Suların toplam çözünmüş katı miktarı değerine göre sınıflaması;

Tablo 4.13 Suların TDS sınıflaması (Caroll, 1962)

TDS (mg/l)	Sınıfı
0-1000	Tatlı Su
1000-10000	Acımsı Su
10000-100000	Tuzlu Su
>100000	Çok Tuzlu Su

Toplam çözünmüş katı madde ile elektriksel iletkenlik arasında hesaplama bağıntısı da mevcuttur. Bu bağıntı;

$$TDS\ (mg/l) = 0{,}64 \times EC\ (\mu mho/cm) \qquad (4.11)$$

Havzada toplam çözünmüş katı miktarı 195-1145 mg/l değerleri arasındadır. Çalışma alanında bulunan 91 no'lu sondaj kuyu suyu ''Acımsı Su'' sınıfına girmektedir. Diğer kuyu suları ise ''Tatlı Su'' sınıfındadır.

4.7.1.4. Sertlik

Sertlik, su içinde çözünmüş kalsiyum (Ca^{+2}) veya magnezyum (Mg^{+2}) iyonlarının oluşturduğu bikarbonatlar, sülfatlar, klorürler ve nitratlar olup genel olarak +2 veya daha yüksek değerlikli metal katyonların konsantrasyonlarının toplamının kazandırdığı

fiziksel bir özelliktir. Kalsiyum (Ca^{+2}) ve magnezyum (Mg^{+2}) bikarbonatlar kaynatılarak giderilebilen geçici sertliği (veya karbonat sertliğini); kalsiyum (Ca^{+2}) ve magnezyumun (Mg^{+2}) sülfatlar, klorürler ve nitratlar ile oluşturduğu tuzlar ise kaynatılarak giderilemeyen kalıcı sertliği (veya karbonat olmayan sertliği) verir. Bu iki değerin toplamı suyun toplam sertliğini verir. Ülkemizde yeraltısularının sertlik derecesini belirtmek için Fransız Sertlik Derecesi (Fr0) kullanılmaktadır. 1 Fransız sertlik derecesi= 1 lt suda, 10 mg Ca ve Mg bikarbonat veya buna eşdeğer diğer sertlik verici iyonların bulunmasıdır. Fransız sertliğinin bulunması için Ca ve Mg değerleri mg/l olarak alınır ve aşağıdaki formül uygulanır;

$$\text{Toplam Sertlik} = 0{,}2497\ Ca + 0{,}4115\ Mg \qquad (4.12)$$

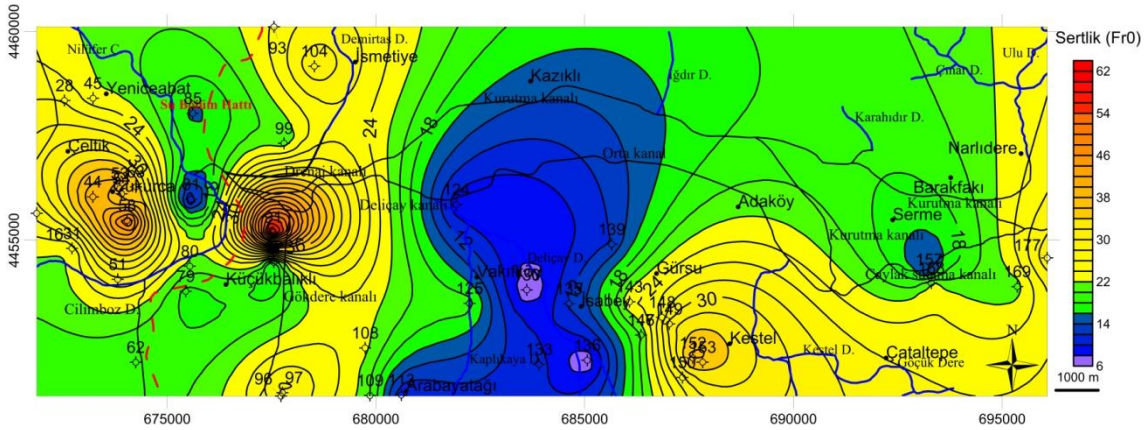
Tablo 4.14 Suların sertliklerine göre sınıflandırılması (Şahinci,1991)

Fransız Sertliği	Suyun Sınıfı
0-7.2	Çok yumuşak
7.2-14.5	Yumuşak
14.5-21.5	Az Sert
21.5-32.5	Oldukça Sert
32.5-54.0	Sert
54'ten fazla	Çok Sert

İnceleme alanında bulunan kuyu sularının sertliği 6,31-61,9 Fr^0 arasında değişmektedir. Kuyu sularının sertliklerine göre sınıflaması Tablo 4.15'te verilmektedir. Şekil 4.59'da yer alan mor renkli alanlar çok yumuşak suların, mavi renkli alanlar yumuşak suların, yeşil renkli alanlar az sert suların, sarı renkli alanlar oldukça sert suların, turuncu renkli alanlar sert suların, kırmızı renkli alanlar ise çok sert suların bulunduğu bölgelerdir.

Tablo 4.15 Kuyu sularının sertlik sınıflaması

Kuyu No	Sertlik Dh^0 (Fr0)	Sertlik Sınıflaması	Kuyu No	Sertlik Dh^0 (Fr0)	Sertlik Sınıflaması
16	26,8	Oldukça sert	108	22,6	Oldukça sert
28	25,9	Oldukça sert	109	20,5	Az sert
31	22,3	Oldukça sert	113	9,74	Yumuşak
44	39,9	Sert	124	8,74	Yumuşak
45	22,7	Oldukça sert	125	19	Az sert
51	27,6	Oldukça sert	130	6,31	Çok yumuşak
53	39,3	Sert	133	10,8	Yumuşak
54	30,1	Oldukça sert	135	12,2	Yumuşak
58	49,3	Sert	136	6,39	Çok yumuşak
62	18,2	Az sert	139	12,2	Yumuşak
63	35,8	Sert	143	23,9	Oldukça sert
79	17,1	Az sert	146	20,1	Az sert
80	21,3	Az sert	147	32,6	Sert
81	9,39	Yumuşak	148	26,6	Oldukça sert
85	15,4	Az sert	149	30,8	Oldukça sert
91	61,9	Çok sert	150	29,2	Oldukça sert
92	16,4	Az sert	152	37,2	Sert
93	24,3	Oldukça sert	153	35,3	Sert
96	26,9	Oldukça sert	157	13,3	Yumuşak
97	29,4	Oldukça sert	158	23,1	Oldukça sert
99	20,6	Az sert	169	21,1	Az sert
104	29,8	Oldukça sert	177	29,8	Oldukça sert



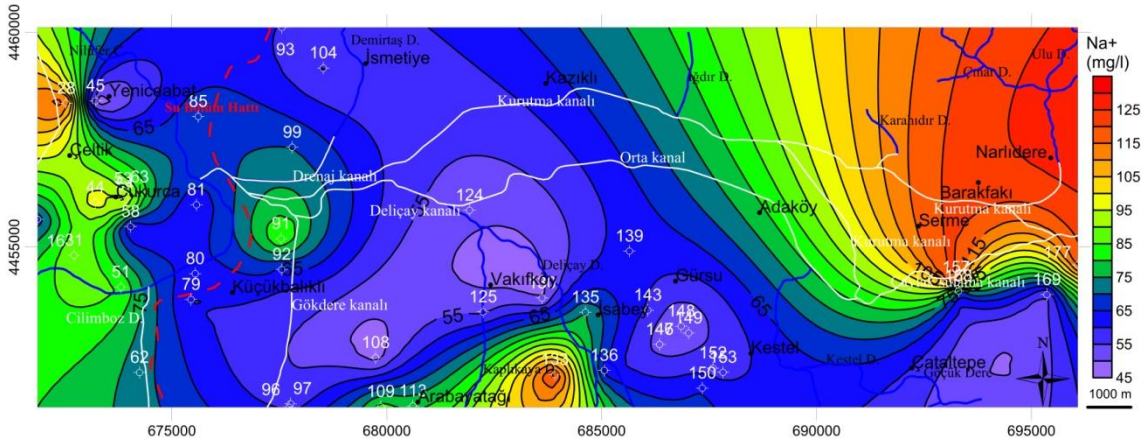
Şekil 4.59 Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının sertlik (Fr0) haritası

4.7.1.5. Sodyum (Na^+) İyonu

Sodyum, alkali metaller arasında yerkabuğunda en fazla bulunan elementtir. Sodyum, evaporitlerin ve sodyum içeren feldispat, plajiyoklas, nefelin, sodalit, stilbit, natrolit, jadeit ve benzeri mineraller yağışların etkisiyle kimyasal olarak bozunmaları sonucunda doğal sulara karışır. Yeraltısularında sodyumun bulunuşu mineral cinsine ve miktarına, pH'a, bozunum süresine, yeraltısuları akım hızına, ortamdaki kalsiyum iyon derişimine, yapay ve doğal kirlenme gibi etkenlere bağlıdır (Şahinci, 1991). Yeraltısuları sedimenter kayaçlar içerisinde, kalsiyum iyonu sodyumlu minerallerle iyon yer değiştirmesi sonucu $NaHCO_3$'lı sular oluşur.

Sulama sularında, sodyum miktarının fazla olması toprak yüzeyinde sert kabuk oluşumuna neden olur; bu durum bitki köklerinin hava almasını engeller ve bitkilerin büyümesini yavaşlatır (Soyaslan, 2004).

Çalışma alanında bulunan sondaj kuyularından alınan su örneklerinin sodyum analiz sonucu 45,8-122 mg/l arasında olup TS-266 içme suyu standartlarına göre içme suyu açısından uygundur. 81, 113, 133, 136, 157 no'lu kuyu suları $NaHCO_3$ tipi yeraltısularıdır. Şekil 4.60'da haritada kırmızı renkli alanlar yüksek sodyum değerinin olduğu alanları göstermektedir. Bunun nedeni alanın kuzeydoğusunda feldispatlı kumtaşlarının bulunması olabilir.



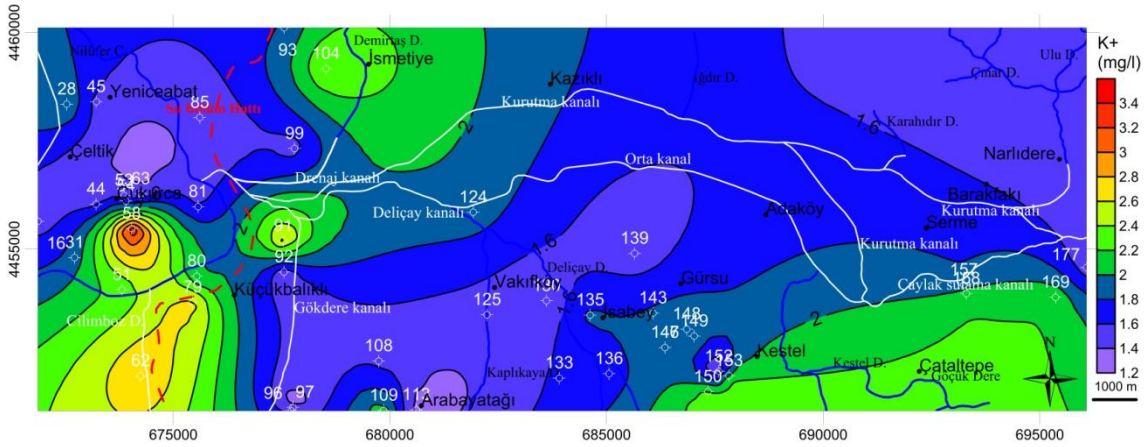
Şekil 4.60 Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının Na^+ (mg/l) haritası

4.7.1.6. Potasyum (K^+) İyonu

Potasyum yerkabuğunda yaklaşık sodyum ile eşit miktarda bulunur. Yeraltısularında potasyum içeriğinin ana kaynağı ortoklas ve mikroklin olmak üzere feldispatlardır. Potasyum, feldispatlar dışında mika, illit veya diğer killerin yapısında, daha az yaygın olarak lösit ve silvin gibi minerallerin ayrışması ile doğal sulara karışır. Akışkanlardaki potasyum konsantrasyonu, sodyum ve potasyumun alüminasilikatlarla olan iyon değişimi dengesiyle kurulur (Hounslow, 1995). Ancak, K^+ içeren silikatli ve alüminasilikatli minerallerin bozunması Na^+ içerenlere oranla daha zordur. Ayrıca, bozunmuş K^+'un çok büyük miktarı kil mineralleri ve bitkiler tarafından emilir. İyon yarıçapı büyük olduğu için eksi yüklü kolloidler tarafından emilerek tekrar iyon değişimine uğramaz. Bu nedenle potasyum iyonu kalsiyum, magnezyum ve sodyum iyonlarına oranla yeraltısularında daha az bulunur (Şahinci, 1986).

Doğal sularda potasyum içeriği genelde 20 mg/l aşmamaktadır. Ancak sıcak su kaynaklarında bu değer 100 mg/l'ye ulaşabilmektedir (Doğan, 1981). TS-266'ya göre içme ve kullanma suları standartlarında potasyum 12 mg/l'yi aşmamalıdır. Sulama sularında potasyum miktarının fazla olması bitki için toksik etki oluşturur.

Çalışma alanında bulunan sondaj kuyularından alınan su örneklerinin potasyum analiz sonucu 1,28-3,38 mg/l arasındadır. TS-266 içme suyu standartlarına göre 12 mg/l değerinin altında olup içme suyu açısından uygundur. Şekil 4.61'de haritada yeşil ve kırmızı renkli alanlarda potasyum değeri litolojiye bağlı olarak daha yüksektir.



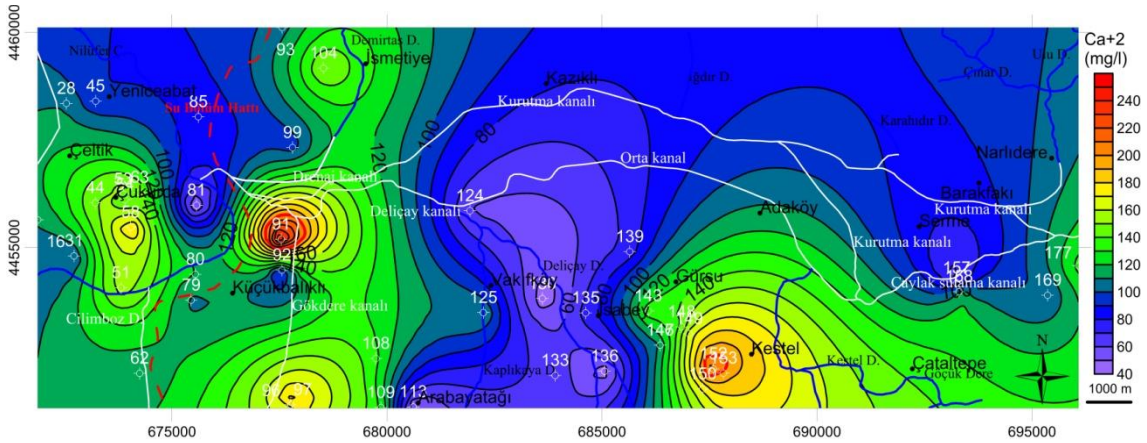
Şekil 4.61 Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının K^+ (mg/l) haritası

4.7.1.7. Kalsiyum (Ca^{+2}) İyonu

Kalsiyum, ağırlık yüzdesine göre yerkabuğunda O, Si, Al ve Fe'den sonra beşinci (%3.5) tatlı sularda ise üçüncü sırayı alır (Şahinci, 1986). Yeraltısularında kalsiyumun ana kaynağını karbonatlı kayaçlar (kireçtaşı, dolomit, mermer vb.) ve anhidrit, jips gibi evaporitler oluşturur. Ayrıca apatit, flüorit, amfibol, piroksen ile feldispat gibi birçok magmatik ve metamorfik kaya mineralleri kalsiyum miktarının yükselmesini sağlamaktadır.

Bitkilerin gelişmesinde kalsiyumun önemli bir rolü vardır. Sulama sularında kalsiyumun bol bulunuşu sodyum yüzdesinin azalmasını sağlar ve böylelikle oluşacak zararları önler (Hounslow, 1995). Kalsiyum magnezyum ile birlikte suyun sertliğini oluşturur.

Çalışma alanında bulunan sondaj kuyularından alınan su örneklerinin kalsiyum analiz sonucu 43-254 mg/l değerleri arasındadır. Ovada 91 ve 152 no'lu kuyu suları TS-266 içme suyu standartlarına göre 200 mg/l değerinin üzerinde oldukları için içme suyu açısından uygun değildir ve Şekil 4.62'de haritada bu sınır değer kırmızı çizgi ile gösterilmektedir. Şekil 4.62'de ovanın çevresini saran kireçtaşı ve mermerlerin etkisiyle alandaki kalsiyum değerleri yüksektir.



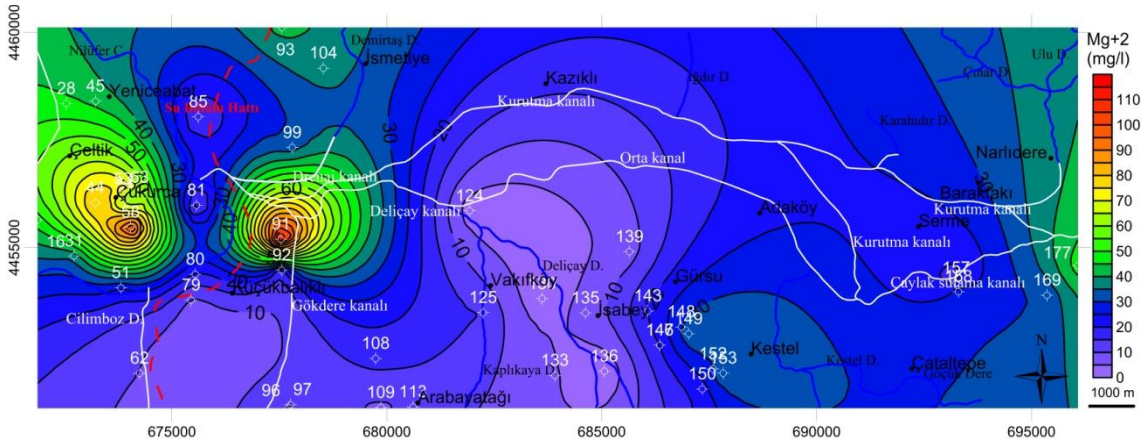
Şekil 4.62 Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının Ca^{+2} (mg/l) haritası

4.7.1.8. Magnezyum (Mg^{+2}) İyonu

Magnezyum, yeraltısularında kalsiyumdan sonra en fazla bulunan toprak alkali element olup; yerkabuğu ve tatlı sularda ise en fazla bulunan elementler sıralamasında sekizinci sıradadır. Yeraltısularındaki Mg^{+2} iyonunun en büyük kaynağı dolomittir. Magnezyum iyonu, magmatik kayaçlardaki olivin, mikalar, amfibol, metamorfik kayaçlardaki piroksen, serpantin, talk ve tremolit minerallerinin çözünmesi ile yeraltısuyuna karışır. Ultrabazik kayaçların çözünmesi sonucu yeraltısuyundaki magnezyum değeri kalsiyum değerinden daha fazla olabilmektedir.

Sulama sularında Mg^{+2} ve Ca^{+2} katyonları toprağı daha geçirgen ve işlenebilir kılar. Magnezyum, normal bitki gelişmesi için gerekli olup, yüksek konsantrasyonları toksik etkiye sebep olmaktadır (Öztürk, 2004).

Çalışma alanında bulunan sondaj kuyularından alınan su örneklerinin magnezyum analiz sonucu 0,625-114 mg/l değerleri arasındadır. 44, 53, 58, 63 ve 91 no'lu kuyu sularının Mg^{+2} değerleri TS-266 içme suyu standartlarına göre 50 mg/l'nin üzerinde olup, içme suyu açısından uygun değildir. Şekil 4.63'te ovanın batısında magnezyum değeri diğer alanlara göre daha yüksektir ve sınır değer üzerindeki alan kırmızı çizgilerle gösterilmiştir.



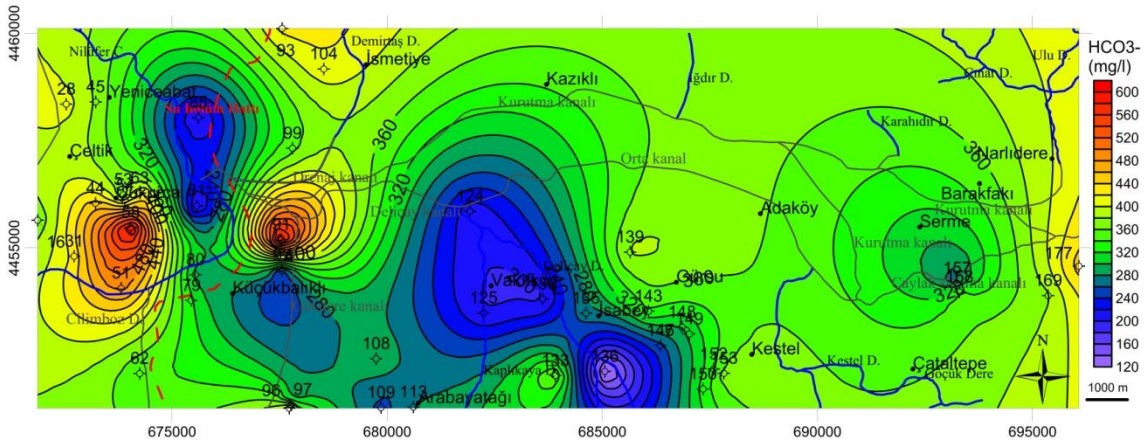
Şekil 4.63 Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının Mg^{+2} (mg/l) haritası

4.7.1.9. Karbonat (CO_3^{-2}) ve Bikarbonat (HCO_3^-) İyonları

Yeraltısularında karbonat ve bikarbonat iyonlarının çoğu atmosfer ve topraktaki karbondioksitten ve karbonatlı kayaçların erimesinden oluşmaktadır (Erguvanlı&Yüzer, 1973). Doğal sulardaki karbonat ve bikarbonat miktarı, karbondioksit kısmi basıncına

(P_{CO2}) ve çözeltinin pH değerine bağlıdır. pH değeri yaklaşık 6-10 arasında ise, çözeltide HCO_3^- baskın, daha düşük pH değerlerinde karbonik asit (H_2CO_3), daha alkali sularda ise CO_3^{-2} baskın iyondur (Nicholson, 1993). Sulama sularında bikarbonat konsantrasyonunun toksik etkisi bitki cinsine göre değişmekte ve yüksek konsantrasyonda bulunması halinde sodyum zararı da artmaktadır (Öztürk, 2004).

Çalışma alanında bulunan sondaj kuyularından alınan su örneklerinin bikarbonat analiz sonucu 103,65-609,75 mg/l değerleri arasındadır. Şekil 4.64'te haritanın genelinde yeşil, sarı ve kırmızı renkli alanların çevresinde bulunan alkali kayaçların etkisiyle HCO_3^- miktarı yüksektir.

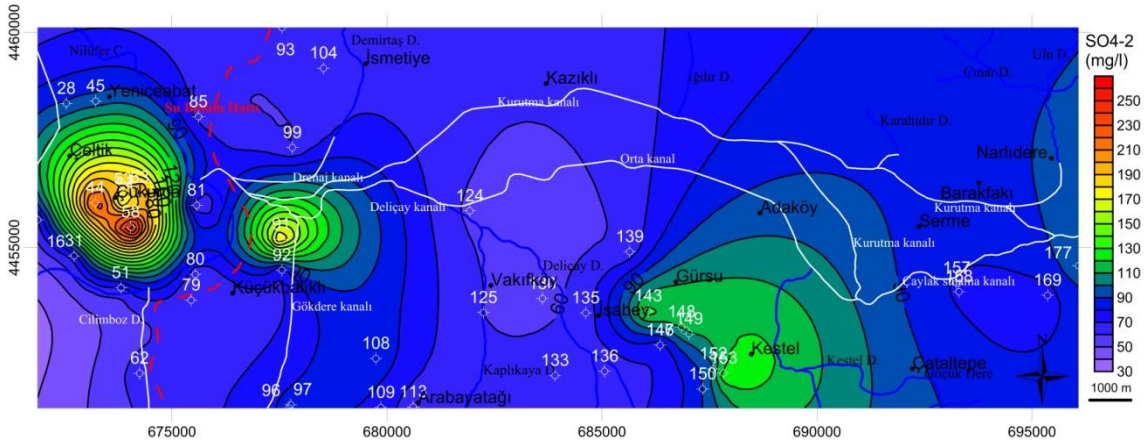


Şekil 4.64 Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının HCO_3^- (mg/l) haritası

4.7.1.10. Sülfat (SO_4^{-2}) İyonu

Kükürt, magmatik ve sedimenter kayaçlarda indirgenmemiş halde metalsülfürleri olarak bulunur. Sülfür mineralleri suyla temas ederek bozundukları zaman oksitlenerek sülfat iyonu oluşur ve bu iyonlar suya geçer (Hem, 1985). Doğal sularda sülfat iyonunun başlıca kaynağı jips, anhidrit, şeyl gibi sedimenter kayaçlar, magmatik ve volkanik kayaçlar ile organik maddelerdir. Magmatik ve metamorfik kayalardan veya bunların ürünlerinden oluşan çökel kayalardaki yeraltısularında 100 mg/l'den az sülfat bulunur (Şahinci, 1986). Sülfat iyonu evsel ve endüstriyel atıklar, asit yağmurları, kükürt içeren maden sahalarının drenaj suları ile yeraltı ve yüzey sularına karışmaktadır. Sulama sularında sülfat iyonu yüksek konsantrasyonlarda kalsiyum çökelmesine neden olur ve bitkilere toksik etki eder (Öztürk, 2004).

Çalışma alanında bulunan sondaj kuyularından alınan su örneklerinin sülfat analiz sonucu 57,3-262 mg/l değerleri arasındadır. Bursa Ovası'nda 58 no'lu kuyu suyu dışında, TS-266 içme suyu standartlarına uymayan kuyu suyu bulunmamaktadır ve Şekil 4.65'te kırmızı alan olarak gösterilmiştir; batı alanda yüksek SO_4^{-2} miktarının bulunması tarımsal faaliyetlerle ilişkili olabilir.

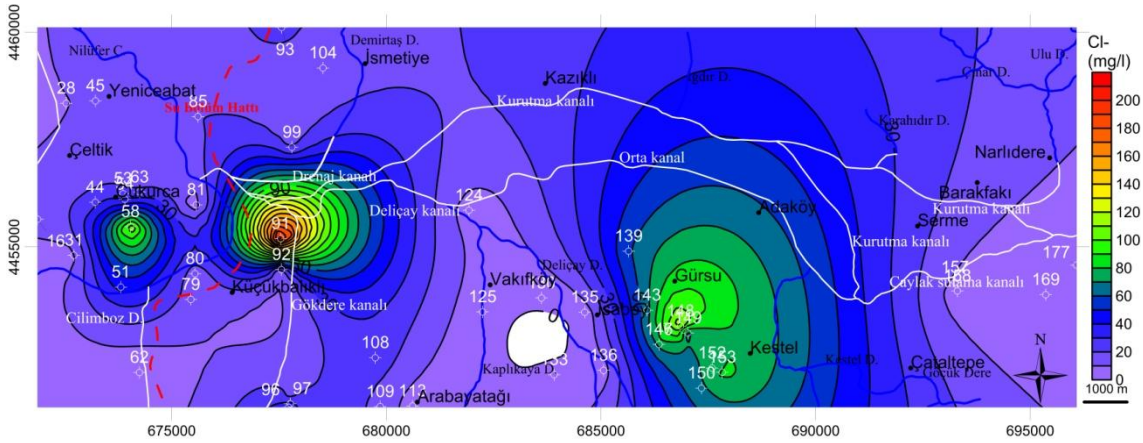


Şekil 4.65 Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının SO_4^{-2} (mg/l) haritası

4.7.1.11. Klorür (Cl^-) İyonu

Klorür halojen grubu elementidir ve tüm tuzları pH'tan bağımsız olarak kolayca çözünürler. Klorür tuzlarının başlıca kaynağı evaportitler ve ince taneli denizel şeyllerdir. Magmatik kayalarda ise feldispatoyid sodalit, klorapatit, biyotit ve hornblend gibi minerallerdir. Yeraltısularında klorür iyonun artması bu sulara evsel ve endüstriyel atıkların karışması, yapay tarım gübrelerinin, çürümüş hayvan ve bitki artıklarının, yolların buzlanmasını engellemek için dökülen tuzların karışması ile oluşabilmektedir (Şahinci, 1986). Sulama sularında klorür iyonunun yüksek konsantrasyonları bitkide yaprakların yanmasına ve gelişiminin durmasına neden olmaktadır (Öztürk, 2004).

Çalışma alanında bulunan sondaj kuyularından alınan su örneklerinin klorür analiz sonucu 0,613-212 mg/l değerleri arasındadır. Bursa Ovası'nda TS-266 içme suyu standartlarına uymayan kuyu suyu bulunmamaktadır. Şekil 4.66'da haritada yeşil, sarı ve kırmızı renkli alanlarda Cl^- miktarı daha yüksektir.

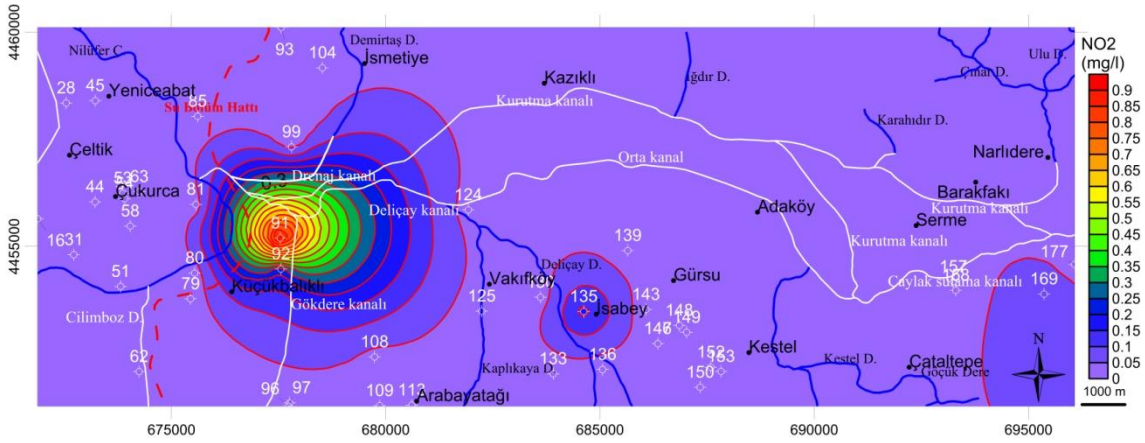


Şekil 4.66 Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının Cl^- (mg/l) haritası

4.7.1.12. Nitrit (NO_2)

Nitrit sularda düşük miktarlarda bulunan bir azot bileşiğidir. Nitrit, oksijensiz ortamda amonyak ve nitrat arasında (nitrifikasyon) veya nitrat ve azot oksit arasında (denitrifikasyon) kararsız durumda olduğundan geçiş formu olarak bulunur. Suda nitritin bulunuşu, organik kirlenme tarafından etkilenmiş aktif biyolojik süreçlerin varlığını gösterir (McNeely ve diğ., 1979). Sularda nitrit nitrata oranla düşük miktarda olmasına rağmen oldukça yaygın görülür. Bozunan bitkisel ve hayvansal atıklar, evsel atıksular, tarımda kullanılan gübreler, endüstriyel atıksular, katı atıkların yakılması, atmosferdeki azotun yıkanması yüzey ve yeraltısularına nitrit sağlayan başlıca kaynaklardır (Anon, 1984).

Çalışma alanında bulunan sondaj kuyularından alınan su örneklerinin nitrit analiz sonucu 0,019-0,905 mg/l değerleri arasındadır. 91, 92, 135, 169 no'lu kuyu suları TS-266 içme suyu standartlarına göre 0,05 mg/l'nin üzerinde olduğu için içme suyu açısından uygun değildir ve Şekil 4.67'de de gözlendiği gibi kırmızı kontur çizgileriyle kapanımlar yaptığı alanlardaki kuyu sularının nitrit değerleri yüksektir.

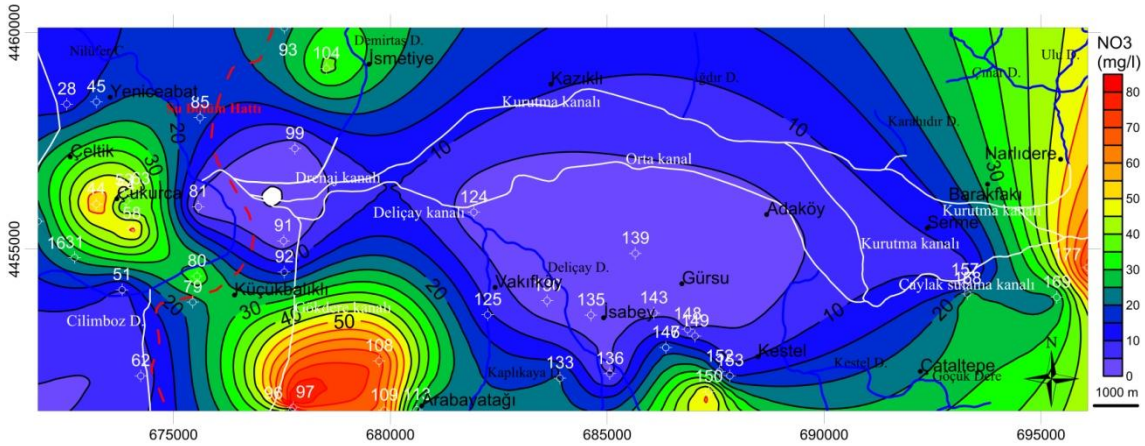


Şekil 4.67 Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının NO_2 (mg/l) haritası

4.7.1.13. Nitrat (NO_3)

Nitrat, amonyum tuzlarının oksijenli ortamda önce nitrite daha sonra nitrata dönüşmesi ile oluşur. Yeraltısularında nitratın başlıca kaynakları, çürümüş bitkisel ve hayvansal atıklar, endüstriyel atık sular, tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübreler, atmosferik azotun yağışlarla yıkanmasıdır. Ayrıca nitrat magmatik ve volkanik gazlar sonucu yerel olarak oluşur.

Çalışma alanında bulunan sondaj kuyularından alınan su örneklerinin nitrat analiz sonucu 0,8-83,7 mg/l değerleri arasındadır. Bursa Ovası'nda 44, 58, 97, 108, 109, 150 ve 177 no'lu kuyu suları TS-266 içme suyu standartlarına göre 50 mg/l'nin üzerindedir. Şekil 4.68'de haritada kırmızı kontur çizgileriyle gösterilen alanlar yüksek nitrat değeri içeren bölgelerdir.

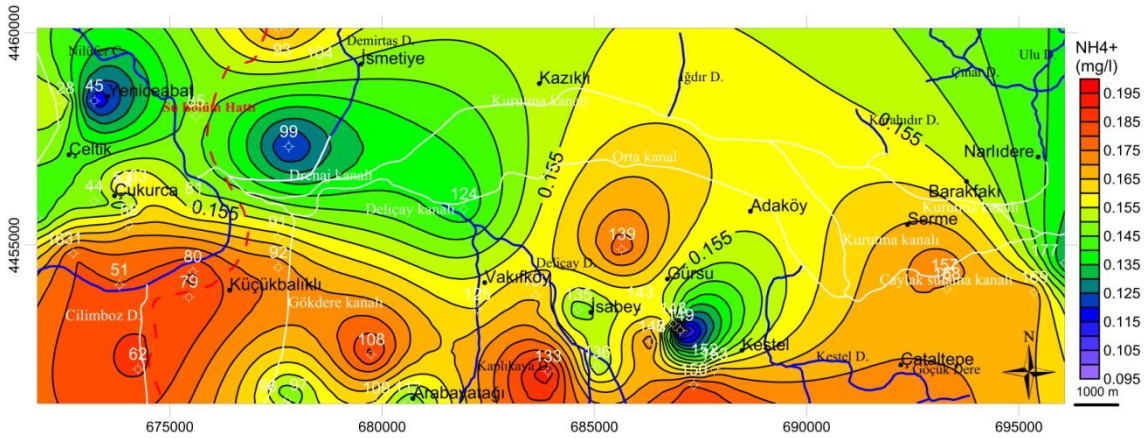


Şekil 4.68 Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının NO_3 (mg/l) haritası

4.7.1.14. Amonyum (NH_4^+)

Azotun sularda en çok bulunan indirgenmiş inorganik bileşiği çözünmüş amonyak (NH_3) ve amonyum (NH_4^+) iyonlarından oluşan amonyaktır. Amonyum genellikle bir geçiş formu olup; organik (metabolik prosesler), inorganik (kayaç ayrışması, hidrotermal aktivite gibi) ve antropojenik (gübreler, endüstriyel faaliyetler, evsel atıklar) kaynakların sonucu oluşur.

Çalışma alanında bulunan sondaj kuyularından alınan su örneklerinin amonyum analiz sonucu 0,097-0,195 mg/l arasındadır. NH_4^+değerleri TS-266 içme suyu standartlarına göre 0,5 mg/l'nin altında oldukları içme suyu açısından uygundur. Şekil 4.69'da görüldüğü gibi NH_4^+ daha yüksek değerlere şehirleşmenin daha yaygın olduğu güney alanda ulaşmaktadır.



Şekil 4.69 Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının NH_4^+ (mg/l) haritası

4.7.2. SOĞUK SULARIN SULAMADA KULLANIM ÖZELLİKLERİ

4.7.2.1. Sodyum Absorbsiyon Oranı (SAR)

Sulama suyu kalitesinin belirlenmesi açısından önemli bir kriter olan sodyum miktarı toprağın yapısını bozarak geçirgenliğini azaltır ve sulamadan sonra toprak üzerinde kaymak şeklinde sert bir kabuk oluşmasına neden olur. Böylece bitki kökleri hava alamaz ve bitkiler için zehirli bir ortam oluşturur (Şahinci,1991). Bu nedenle, suların sulamada kullanılmasında sodyum absorbsiyon oranının bilinmesi önemlidir. Sodyum absorbsiyon oranı aşağıdaki formüle göre hesaplanır ve SAR oranına göre suların sınıflandırılması Tablo 4.16'da verilmiştir.

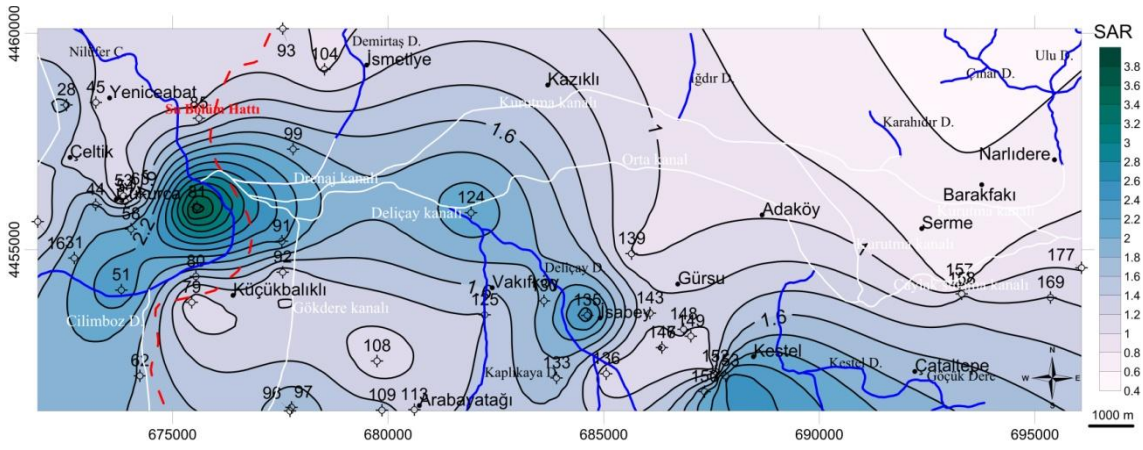
$$SAR\ (Sodyum\ Adsorpsiyon\ Oranı) = Na / [(Ca+Mg) / 2)]^{1/2} \quad (4.13)$$

Tablo 4.16 Suların SAR Sınıflaması (U.S. Salinity Lab. Staff, 1954)

SAR	Sınıf
<10	Çok İyi Özellikteki Sulama Suları
10-18	İyi Özellikteki Sulama Suları
18-26	Kötü Özellikteki Sulama Suları
>26	Fena Özellikteki Sulama Suları

SAR kavramı sodyumu tek başına değil, Ca ve Mg ile karşılıklı etkileşimi ve katyon takas reaksiyonlarındaki aktifliğini dikkate aldığı için % Na'a göre daha hassastır. Ca ve Mg suda sodyum tehlikesini azaltıcı etki gösterir (Doğan 1981).

Bursa Ovası'nda bulunan kuyu sularının SAR değerleri 0,66-3,82 arasında değişmektedir; buna göre, ova genelinde kuyu suları 'çok iyi özellikte sulama suyu' sınıfına girmektedirler (Şekil 4.70).



Şekil 4.70 Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının SAR sınıflama haritası

4.7.2.2. Sodyum Yüzdesi (%Na)

Suların sulama suyu olarak kullanılmasında sodyum yüzdesi (%Na) önemli bir ölçütür. Sodyum, topraktaki geçirgenliğin azalmasına neden olmakta ve toprak zeminin üst kısımlarında sert bir kabuk oluşmasına neden olmaktadır.

Yeraltısularının sulama suyu olarak kullanılmasında sodyum yüzdesi sınıflaması önemli bir kriterdir (Tablo 4.17). %Na artışı toprakta kalsiyum ve magnezyumla baz değişikliğine neden olacağından istenmemektedir. Sodyum yüzdesi hesaplaması için aşağıdaki formül kullanılır;

$$\%Na = r\,Na / (rNa + rK + rCa + rMg) \times 100 \quad (4.14)$$

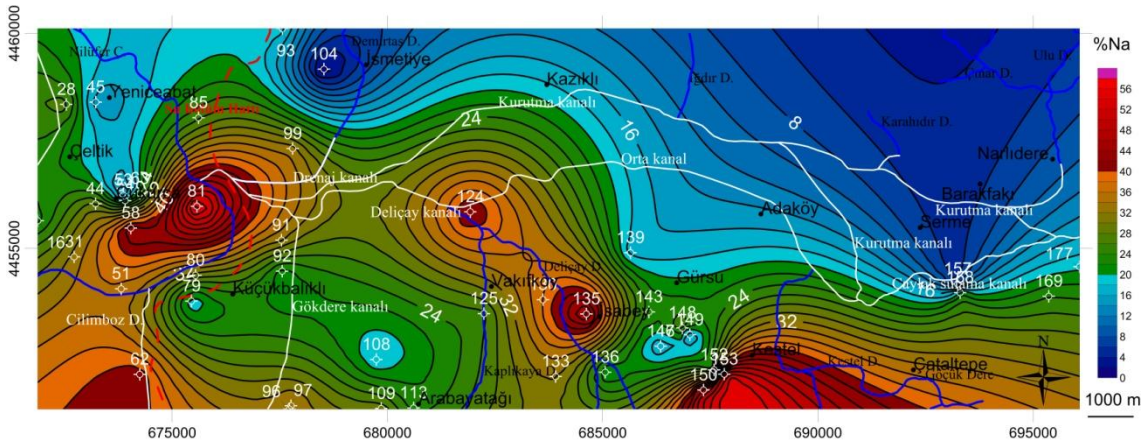
Tablo 4.17 %Na sınıflaması (Scofield, 1935)

Değişebilir Na Yüzdesi	Sulama Suyu Sınıfı
<20	1.Sınıf Su (Çok İyi)
20-40	2.Sınıf Su (İyi)
40-60	3.Sınıf Su (Kullanılabilir)
60-80	4.Sınıf Su (İhtiyatlı Kullanılmalı)
>80	5. Sınıf Su (Zararlı Kullanılmaz)

Çalışma alanında bulunan sondaj kuyularından alınan su örneklerinin %Na sınıflaması 0,18-57,7 arasında değişmektedir. Bursa Ovası'ndaki 44, 45, 58, 91, 97, 104, 147, 148, 149, 152 ve 153 no'lu kuyu suları 1. Sınıf Su (çok iyi), 16, 28, 31, 51, 53, 54, 62, 63, 79, 80, 85, 92, 93, 96, 99, 108, 109, 125, 139, 143, 146, 150, 158 ve 169 no'lu kuyu suları 2. Sınıf Su (iyi), 81, 113, 124, 130, 133, 135, 136 ve 157 no'lu kuyu suları ise 3. Sınıf Su (kullanılabilir) sınıfındadır (Tablo 4.18, Şekil 4.71). Şekil 4.71'de görülen mavi renkli alanlar çok iyi, yeşil renkli alanlar iyi, kırmızı renkli alanlar kullanılabilir sulama suyu sınıfındadır.

Tablo 4.18 Bursa Ovası'ndaki kuyu sularının %Na sınıflaması

Kuyu no	%Na	%Na sınıflama	Kuyu no	%Na	%Na sınıflama
44	4,94	Çok İyi	**92**	31,9	İyi
45	19,5	Çok İyi	**93**	22,7	İyi
58	12,5	Çok İyi	**96**	21,3	İyi
91	14,3	Çok İyi	**99**	29,1	İyi
97	18,9	Çok İyi	**108**	20,1	İyi
104	18	Çok İyi	**109**	32,9	İyi
147	17,8	Çok İyi	**125**	25,5	İyi
148	0,18	Çok İyi	**139**	38	İyi
149	17	Çok İyi	**143**	23	İyi
152	15,8	Çok İyi	**146**	24	İyi
153	16,6	Çok İyi	**150**	21,1	İyi
16	23,1	İyi	**158**	25,4	İyi
28	35,4	İyi	**169**	23,3	İyi
31	32,8	İyi	**177**	32,3	İyi
51	27,1	İyi	**81**	43,8	Kullanılabilir
53	21,7	İyi	**113**	49,13	Kullanılabilir
54	29	İyi	**124**	41,4	Kullanılabilir
62	32,3	İyi	**130**	47,9	Kullanılabilir
63	22	İyi	**133**	57,7	Kullanılabilir
79	29,5	İyi	**135**	42,6	Kullanılabilir
80	26,6	İyi	**136**	53,7	Kullanılabilir
85	35,1	İyi	**157**	52,5	Kullanılabilir



Şekil 4.71 Bursa Ovası'na ait kuyu sularının %Na haritası

4.7.2.3. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramında düşey eksende SAR değerleri, yatay eksende elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin işaretlenmesiyle suların sulama suyu sınıflandırılması yapılmaktadır. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramında geçen tuzluluk ve sodyum sınıflarının anlamları şu şekildedir;

C1: Az tuzlu suları göstermektedir. EC değeri 0-250 μmho/cm arasındadır. Çoğu toprakta her türlü bitkinin sulanmasında kullanılabilir.

C2: Orta derecede tuzlu suları göstermektedir. EC değeri 250–750 μmho/cm arasındadır. Orta derecede bir yıkama varsa, tuzluluk kontrolüne gerek kalmaksızın, tuza orta derecede dayanıklı bütün bitkilerin sulamasında kullanılabilir.

C3: Yüksek tuzlu, EC değeri 750-2250 μmho/cm arasında olan suları göstermektedir. Drenaj durumu iyi olmayan topraklarda ve tuza hassas bitkiler için kullanılmamalıdır. Tuza dayanıklı bitkiler seçilerek ve tuz kontrolü yapılarak kullanılabilir.

C4: Çok yüksek tuzlu, EC değeri 2250–5000 μmho/cm arasında olan suları ifade etmektedir. Normal şartlarda sulamaya uygun değildir. Yüksek permeabilite, çok iyi drenaj, tam yıkamayı sağlayacak kadar bol sulama ve tuzluluğa çok dayanıklı bitki seçimi gibi özel hallerde kullanılabilir.

S1: Az sodyumlu suyu göstermektedir. Bu sınıftaki bir su, sodyum tehlikesi yaratmaksızın hemen her tür topraklarda kullanılabilir.

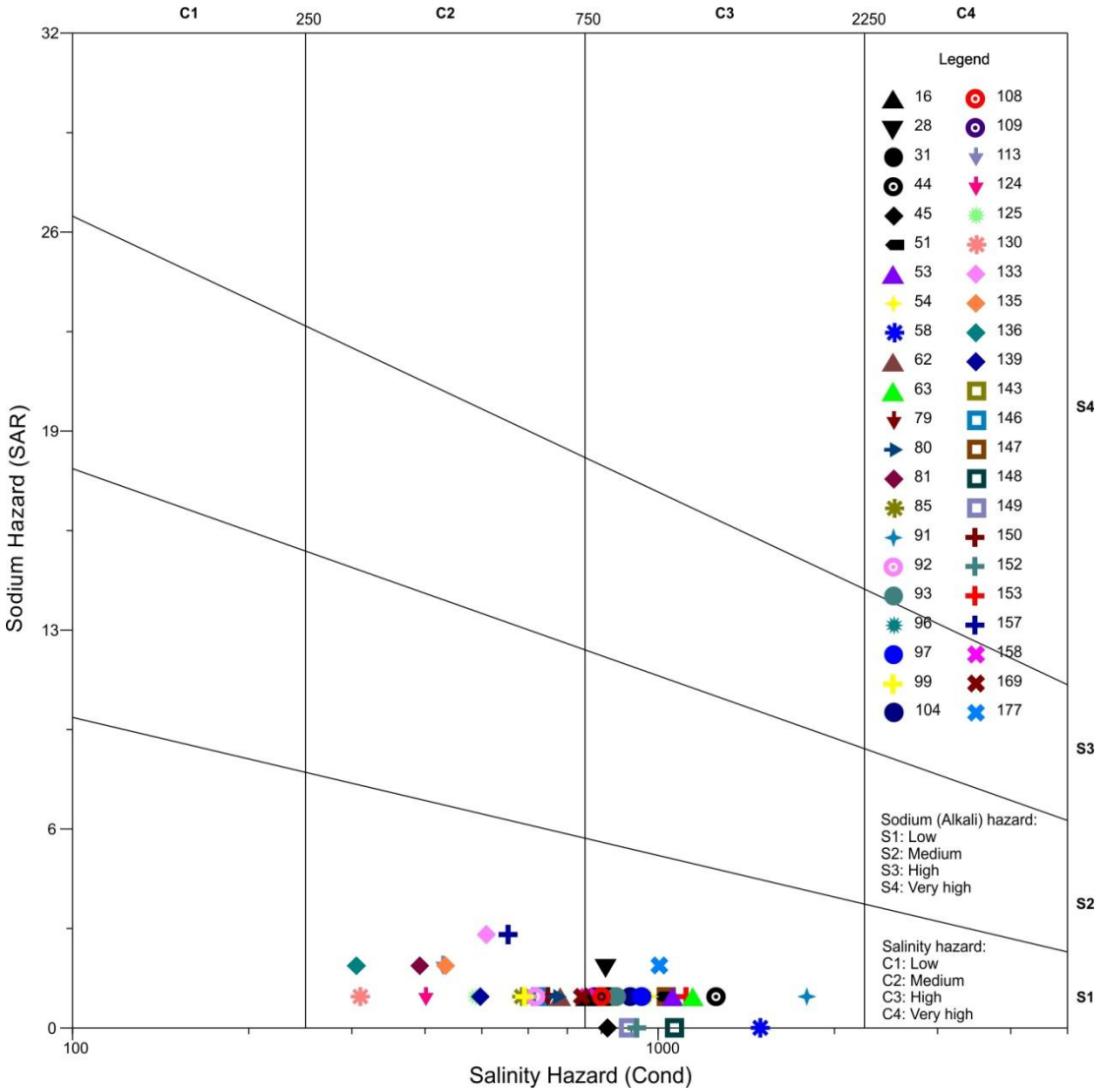
S2: Orta sodyumlu suyu temsil eder. Fazlaca değişebilir sodyum var demektir. Geçirimli veya bol jipsli arazilerde kullanılabilir.

S3: Yüksek sodyumlu suları gösterir. Birçok toprakta sodyum tehlikesi yaratır ve sodikleşmeye yol açar. Çok iyi geçirimli ve akaçlama gösteren arazilerde bol su kullanılarak, belirli sürelerde yapılacak kimyasal testlerle sodyum tehlikesi denetlenmelidir.

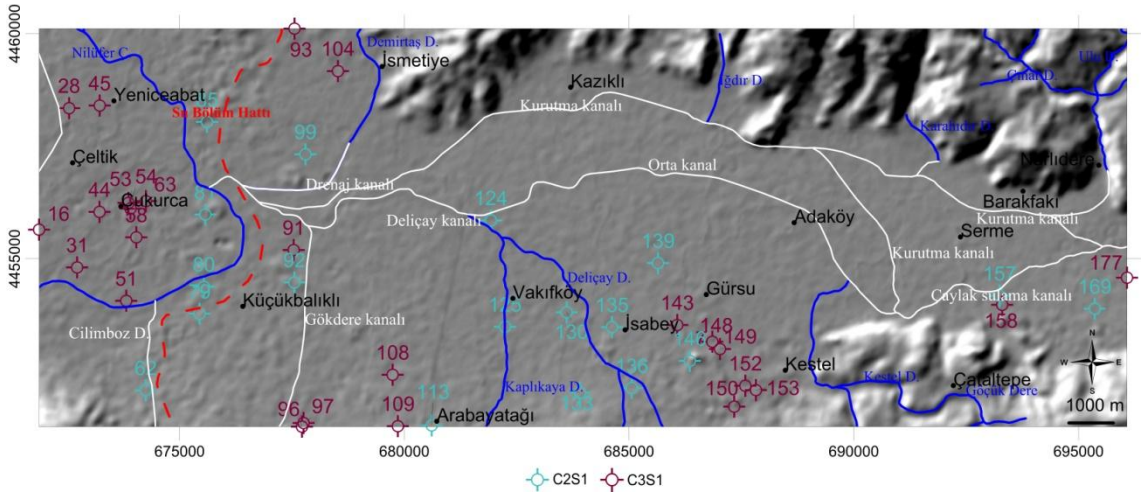
S4: Çok yüksek sodyumlu suları ifade eder. Genel olarak, sulama amaçlarına uygun değildir. Ancak tuzluluğun orta ve düşük olması ile sulamada kullanılabilir (U.S. Salinity Lab. Staff, 1954; Doğan, 1981).

Bu sınıflamaya göre, sular 16 ayrı kategoriye ayrılmaktadır. Bu sınıflama dikkate alınarak kuyu sularının sulama suyu sınıfı değerlendirmesi Şekil 4.72'de verilmiştir. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı değerlendirmesi sonucu 62, 79, 80, 81, 85, 92, 99, 113, 124, 125, 130, 133, 135, 136, 139, 146, 157 ve 169 no'lu kuyu suları orta tuzlu,

tuzluluk tehlikesi içermeden ve sodyum tehlikesi oluşturmadan tüm bitkiler için kullanılabilen C_2S_1 sulama suyu sınıfına; 16, 28, 31, 44, 45, 51, 53, 54, 58, 63, 91, 93, 96, 97, 104, 108, 109, 143, 147, 148, 149, 150, 152, 153, 158 ve 177 no'lu kuyu suları ise tuza dayanıklı bitkilerde ve sodyum tehlikesi oluşturmayan C_3S_1 sulama suyu sınıfına girmektedir. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı sınıflaması sonucu C_2S_1 ve C_3S_1 sulama suyu sınıfına giren kuyuların ova alanındaki yerleri Şekil 4.73'te gösterilmiştir.



Şekil 4.72 Bursa Ovası'na ait kuyu sularının ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

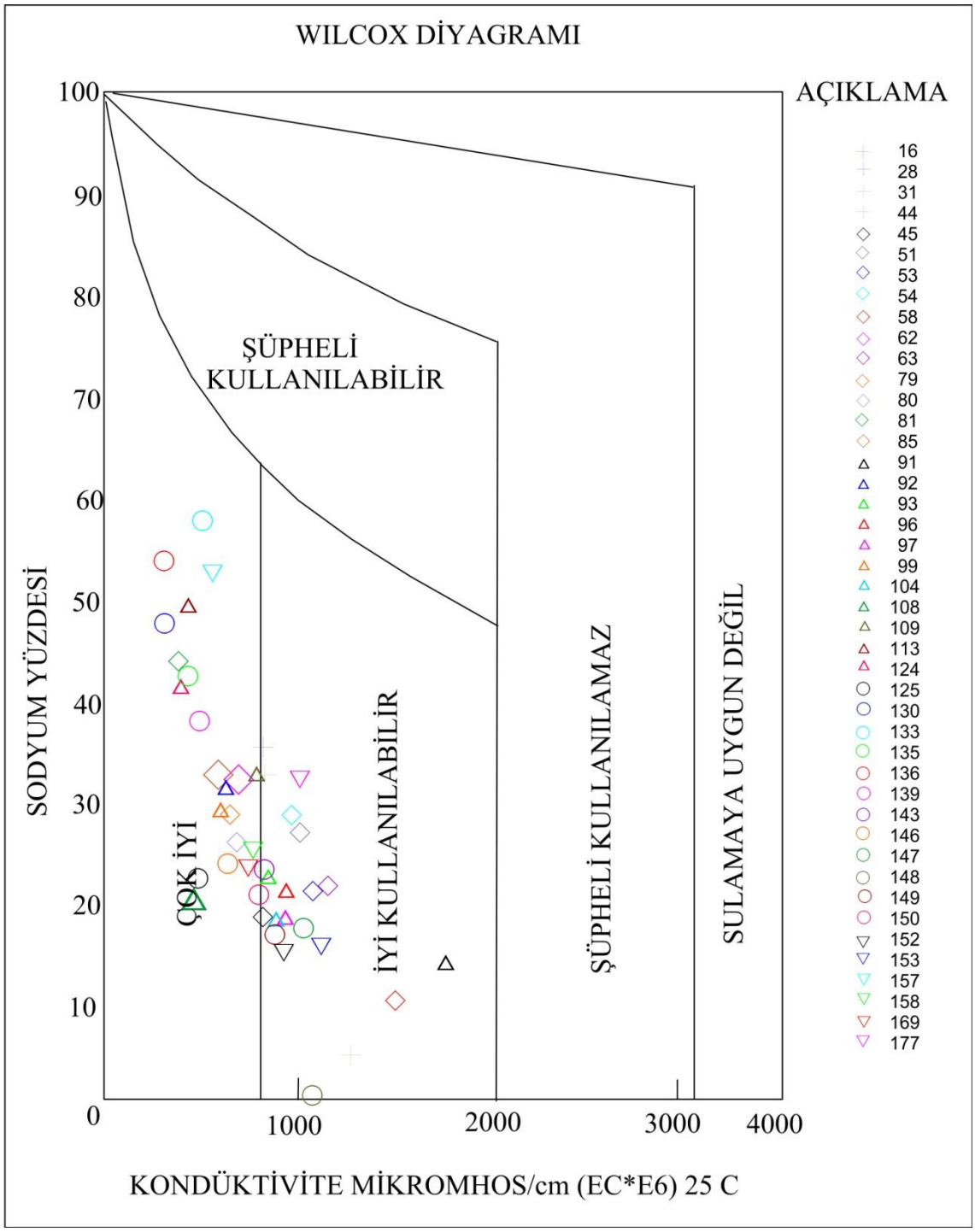


Şekil 4.73 Bursa Ovası'na ait kuyu sularının ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı sınıflama haritası

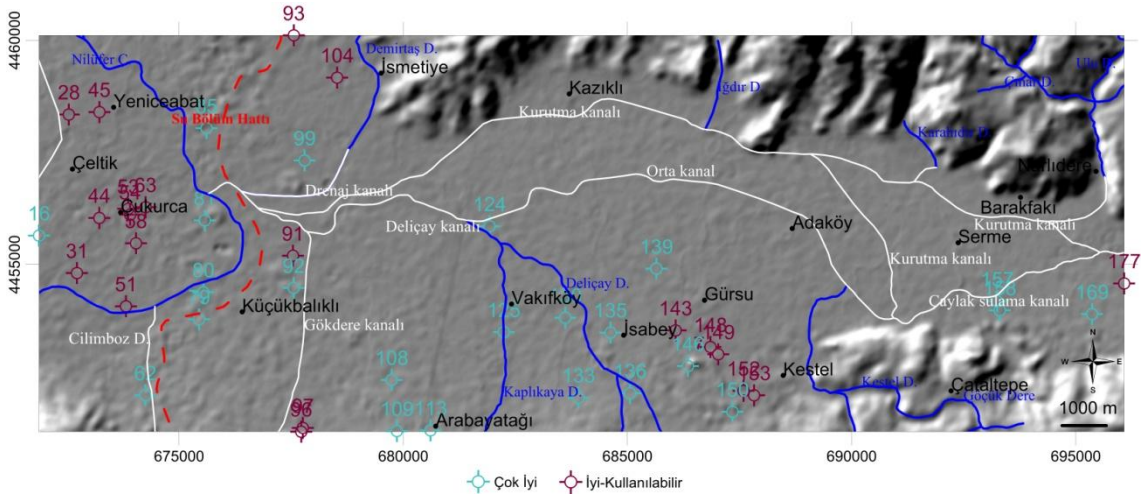
4.7.2.4. Wilcox Diyagramı

Wicox diyagramı suların sulama suyu özelliğinin sınıflandırılmasında kullanılır. Bu diyagramda düşey eksende sodyum yüzdesi (%Na), yatay eksende ise elektriksel iletkenlik (EC) değerleri işaretlenmektedir. Sınıflaması yapılmak istenen su numunesinin sodyum yüzdesi (%Na) değeri işaretlenir ve yatay eksene bir paralel çizilir. Elektriksel iletkenlik (EC) değeri bulunduğu eksende işaretlenir ve yatay eksene dik çizilir. İki çizginin birbirini kestiği nokta suyun sulama sınıfını vermektedir (Wilcox, 1955). Wilcox diyagramında sulama suları, çok iyi, iyi kullanılabilir, şüpheli kullanılabilir, şüpheli kullanılamaz ve sulamaya uygun değil adlarıyla 5 sınıfa ayrılmıştır (Wilcox, 1955).

Çalışma alanında bulunan 16, 62, 79, 80, 81, 85, 92, 99, 108, 109, 113, 124, 125, 130, 133, 135, 136, 139, 146, 150, 157, 158 ve 169 no'lu kuyu sularının Wilcox diyagramına göre sulama suyu sınıfı çok iyi, diğer kuyu suları ise iyi kullanılabilir özelliktedir (Şekil 4.74). Wilcox diyagramına göre sınıflandırılan kuyuların ova alanındaki yerleri Şekil 4.75'te gösterilmiştir.



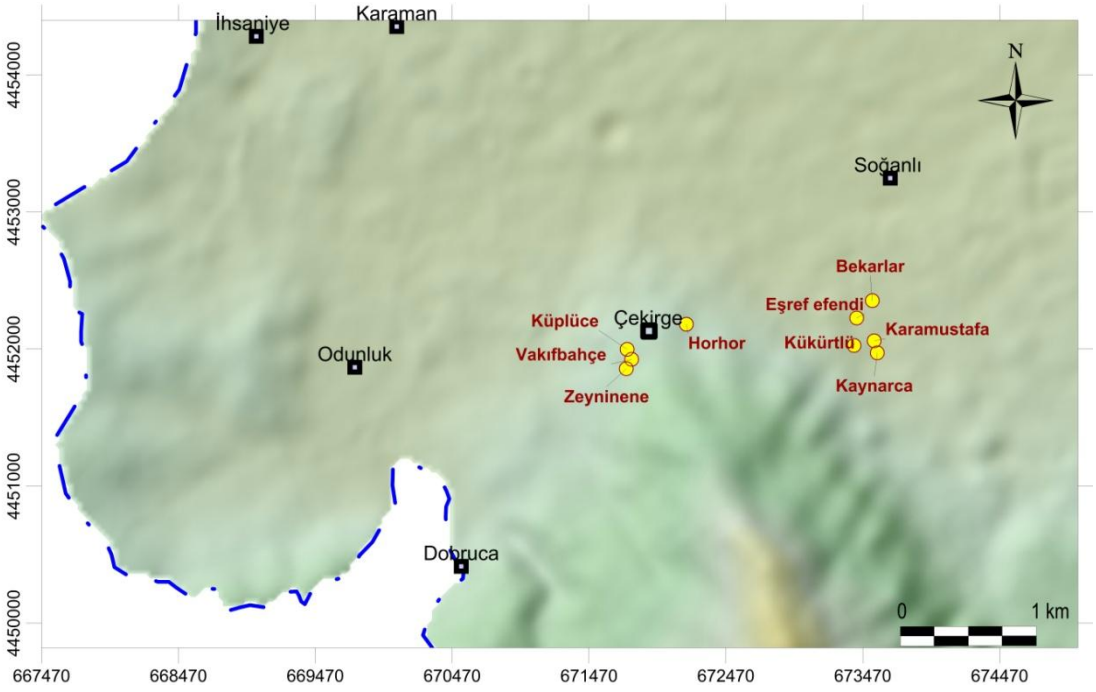
Şekil 4.74 Bursa Ovası'na ait kuyu sularının Wilcox Diyagramı



Şekil 4.75 Bursa Ovası'na ait kuyu sularının Wilcox Diyagramı sınıflama haritası

4.8. JEOTERMAL

İnceleme alanının Çekirge ve Kükürtlü bölgelerinde toplam 19 adet sıcak su kaynağı mevcuttur. Bu sıcak su kaynakları Çekirge ve Kükürtlü grubu sıcak su kaynakları adı altında toplanmıştır. Kentte oluşan yapılaşma ve kapte edilemeyen kaçak sular nedeniyle yararlanılan sıcak su kaynakları 12 adetle sınırlıdır. Çalışma alanında çıkış yapan sıcak su kaynaklar; Çekirge bölgesinde, Vakıfbahçe, Zeyninene, Küplüce, Horhor (42 ºC, 2,5 l/sn), Rıfatbey (28 ºC, 2,5 l/sn), Havuzlupark (38 ºC, 6,5 l/sn), SSK (35 ºC), Kükürtlü bölgesinde ise Kaynarca, Karamustafa kaynakları yanı sıra pompa ile yüzeye çıkarılan ve Uludağ Üniversite Hastanesi'nde kullanılan Kükürtlü (79 ºC, 2 l/sn), kaptajda toplanan Muhittin Baha (79 ºC, 0,8 l/sn), Eşref Efendi (56 ºC) kaynaklarıdır (MTA, 2003) (Şekil 4.76).



Şekil 4.76 İnceleme alanında bulunan sıcak su kaynakları

Jeotermal suların doğada oluşumu için; ısı kaynağı, geçirimli ve gözenekli bir hazne kayacı, geçirimsiz bir örtü ve meteorik suların derinlere inmesini sağlayacak bir yapı var olmalıdır. Hazne kayacı, yeraltısularında olduğu gibi içinde sıcak suyun biriktiği bir ortamdır. Isı kaynağının bulunduğu alanlarda hazne kayacı içindeki su konveksiyon akımlarla ısınır. Örtü kayacı, hazne kaya üzerinde, sistem ısısının yüzeye ve derine doğru korunmasında etkili geçirimsiz veya düşük geçirimli kaya topluluğudur. Örtü kaya termal etkinlik sonucu oluşabilirler. Hazne kaya üzerinde örtü kayanın

bulunmadığı açık sistemde, yoğun kırıklı sığ derinliklerdeki kayalarda dolaşan termal sular mineral çökeltileri (kireçli ve silisli) ve hidrotermal alterasyon (killeşme vd.) ile kırıkların tıkanmasını ve örtü kayanın oluşmasını sağlar. Sıcak ve mineralli suların büyük bölümü meteorik kökenlidir ve bu nedenle yerüstü beslenme alanının var olması gerekir. Dolayısıyla buradan sızan sular hazne kayada toplanarak basınçlı sistemleri oluştururlar. Beslenme alanlarının genişliği morfolojik, jeolojik, hidrojeolojik özellikler, mostraların yayılımı ve konumları ile farklılıklar gösterir. Beslenme alanlarının genişliğini önemli ölçüde kırıklı ve faylı zonlar etkilemektedir. Beslenme alanlarında suların hazneye ulaşımı, geçirimli formasyonlar, fay ve kırıklarla sağlanmaktadır.

İnceleme alanında ısıtıcı kaynağı Uludağ granitoyidi, hazne kaya karstik yapı sunan Uludağ mermeri, beslenim alanı Uludağ bölgesi (Imbach, 1997) ve alanda bulunan faylar, örtü kayacı ise Karacaoba formasyonu ile Kuvaterner yaşlı kilce zengin çökellerdir.

4.8.1. Jeotermal Suların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Çalışma kapsamında Çekirge grubu kaynaklarından Vakıfbahçe, Zeyninene, Horhor ve Kükürtlü grubu kaynaklarından Kaynarca ve Karamustafa kaynaklarının fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları değerlendirilmiştir (Tablo 4.19).

Tablo 4.19 Jeotermal suların kimyasal analizi

KAYNAK ADI	ÇEKİRGE GRUBU			KÜKÜRTLÜ GRUBU	
	VAKIFBAHÇE	ZEYNİNENE	HORHOR KADINLAR HAMAMI	KAYNARCA	KARAMUSTAFA
x	671781	671742	672180	673576	673554
y	4451925	4451856	4452181	4451972	4452060
Debi(lt/S)					
Yükseklik (m)	217	203	179	117	107
Tarih	02.05.2011	02.05.2011	05.05.2011	23.05.2011	23.05.2011
Sıcaklık	45,1	42,6	42,1	79,3	56,3
pH	7,22	7,12	7,32	6,89	7,11
EC (µmho/cm)	552	565		1361	1140
TDS (mg/l)	444	456		1091	922
Çözülü O_2	3,17	3,21		4,06	4,85
Ca^{+2} (mg/l)	59,3	59,8	63,53	67,75	69,54
Mg^{+2} (mg/l)	19,84	19,89	19,31	6,48	6,23
Na^{+} (mg/l)	31,46	32,2	27,88	168,2	141,3
K^{+} (mg/l)	4,56	4,6	4,1	22,4	17,2
CO_3^{-2} (mg/l)					
HCO_3^{-} (mg/l)	326	312	366	585,6	585,6
Cl^{-} (mg/l)	13,47	13,82	21,2	15,6	27,6
SO_4^{-2} (mg/l)	54	54	66	123	115
F^{-} (mg/l)	0,48	0,49	0,41	0,93	0,86
H_2SiO_3 (mg/l)	52,39	48,1	45,11	28,85	35,45
Veri Kaynağı	İl Halk Sağlığı	İl Halk Sağlığı	İl Halk Sağlığı	İl Halk Sağlığı	İl Halk Sağlığı

Jeotermal suların en önemli özelliklerinden biri sıcaklıklarıdır ve genel olarak soğuk, ılık ve sıcak olmak üzere üçe ayrılırlar. Sular farklı araştırıcılar tarafından sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada Bogomolow sınıflaması ile sular sınıflandırılmıştır.

Tablo 4.20 Sıcak suların Bogomolow'a göre sınıflaması

Sıcaklık	Sınıf
<20°C	Soğuk Su
20 °C -37 °C	Hipotermal Su (=ılık su)
37 °C -42 °C	Termal su (=sıcak su)
>42 °C	Hipertermal su (=çok sıcak su)

Çekirge grubu sıcak su kaynakları sıcaklıkları 42,6-45,1^{0}C arasında TSE (1985) standartlarına göre hipotermal su ve düşük sıcaklıklı sahalar olarak adlandırılır. Bogomolow'a göre çok sıcak su sınıfındadırlar.

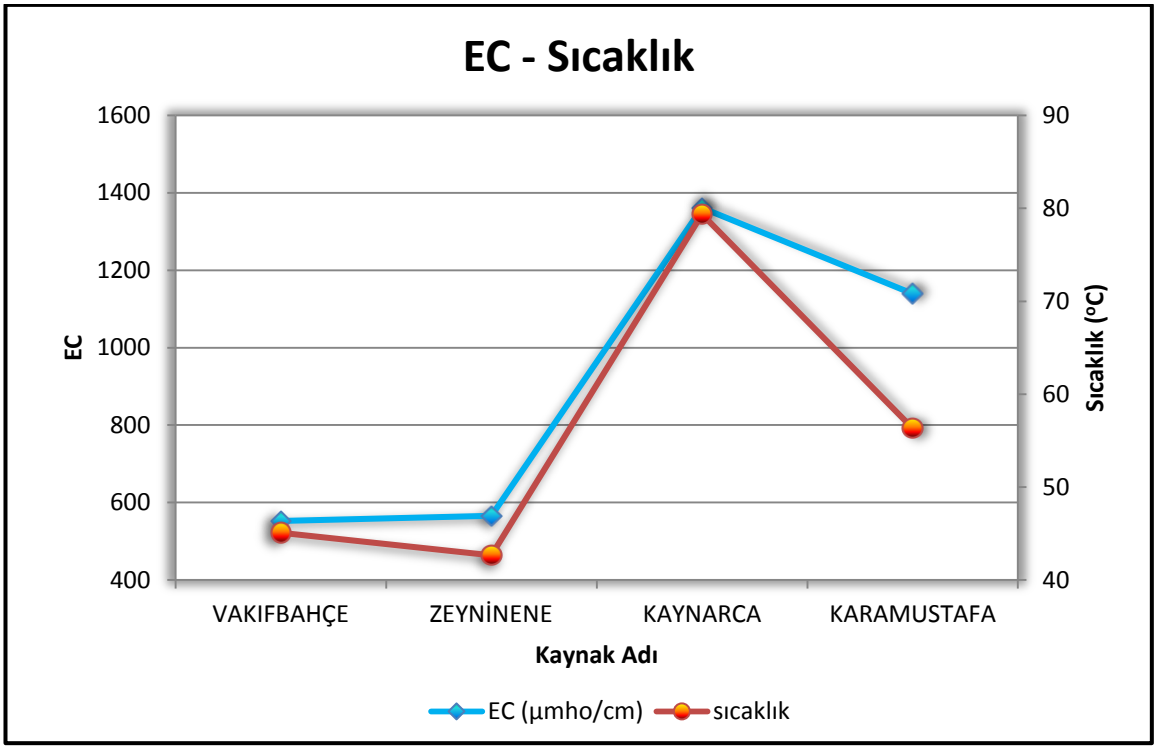
Kükürtlü gubu sıcak su kaynakları ise 56,3- 79,3^{0}C arasındadır. TSE (1985) standartlarına göre hipotermal su ve düşük sıcaklıklı sahalar olarak adlandırılır. Bogomolow'a göre çok sıcak su sınıfındadırlar.

Jeotermal suların pH değerleri kaynamaya bağlı olarak farlılıklar göstermektedir. Karbondioksitin ortamdan uzaklaşması akışkanın daha alkali olmasına neden olur. pH akışkanın tuzluluk ve sıcaklığından da etkilenmektedir (Nicholson, 1993). Çekirge grubu sıcak suların pH değeri 7,12-7,32, Kükürtlü grubu sıcak suların pH değeri 6,89-7,11 arasındadır.

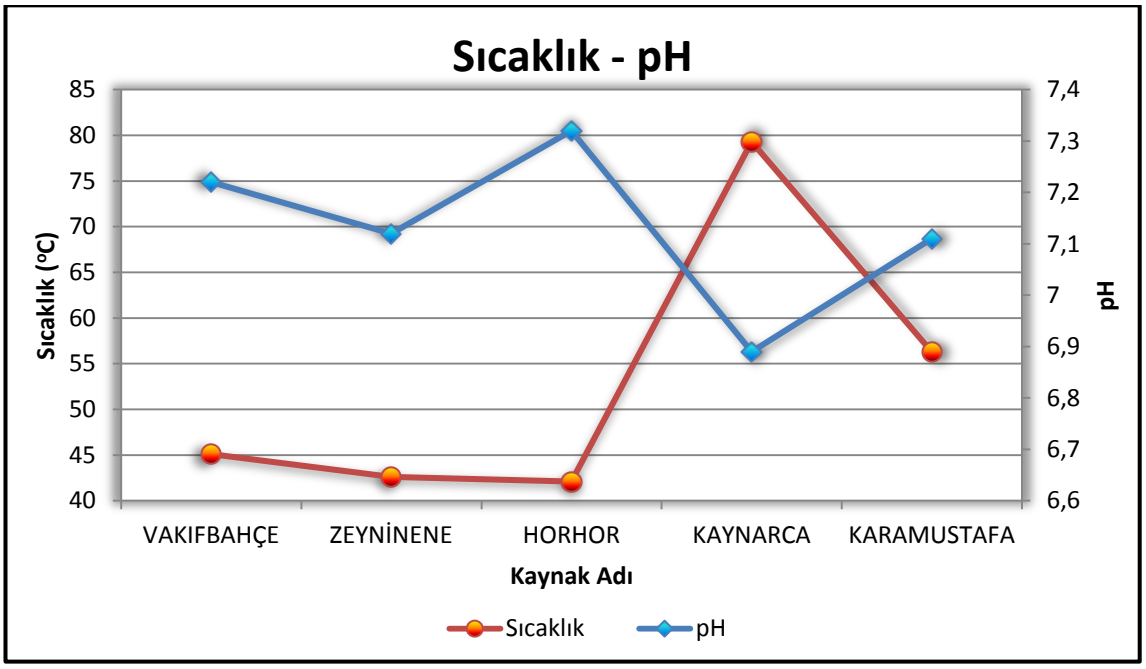
Suların özgül elektriksel iletkenliği iyonların suda varlığına, suların yeryüzüne çıkıncaya kadar izledikleri yola, temasta oldukları kayacın cinsine, kayaçların çözünürlüklerine, suyun sıcaklığına, bölgedeki iklim ve yağış koşullarına bağlıdır. Sıcaklık artışı ve sudaki iyonların derişimi ile suların elektriksel iletkenlikleri arasında doğru orantı mevcuttur. Dolayısıyla elektriksel iletkenlik ölçümleri sudaki toplam iyon konsantrasyonu hakkında iyi bir göstergedir (Day ve Nightingale, 1984; Hem, 1985).

Çekirge grubu sıcak su kaynaklarının EC değeri 552 ve 565 μmho/cm, Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarının ise 1140 ve 1361 μmho/cm değerindedir. Eruvanlı ve Yüzer (1973)'in EC sınıflamasına göre Çekirge grubu sıcak suları iyi, Kükürtlü grubu sıcak suları ise kullanılabilir sınıfındadır. Çekirge grubu sularına soğuk su karışımının fazla olması nedeniyle EC değerleri düşüktür.

Alandaki sıcak suların EC-Sıcaklık ve Sıcaklık-pH ilişkileri Şekil 4.77 ve 4.78'de grafiklerle gösterilmiştir. Buna göre, sıcaklık arttıkça EC değeri artmakta, pH değeri ise azalmaktadır.



Şekil 4.77 Sıcak suların EC-Sıcaklık ilişkisi



Şekil 4.78 Sıcak suların Sıcaklık-pH ilişkisi

Sodyum jeotermal akışkanlardaki ana katyon olup, konsantrasyonu 200–2000 mg/l arasında olabilmektedir. Potasyum da jeotermal akışkanlarda major iyon olmasına karşın, akışkanda K^+ konsantrasyonu Na^+ konsantrasyonun kabaca 10'da biri kadardır (Nicholson,1993).

Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarının Na^+ ve K^+ değerleri diğer sıcak sulara oranla daha yüksektir. Çekirge grubu sıcak su kaynaklarının Na^+ değerleri 27,88-32,2 mg/l, Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarının ise 141,3 ve 168,2 mg/l arasındadır. Çekirge grubu sıcak su kaynaklarının K^+ değerleri 4,1-4,6 mg/l, Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarının ise 17,2 ve 22,4 mg/l arasındadır.

Jeotermal sularda Na^+ ve K^+ iyonlarının konsantrasyonları sıcaklığa bağlı mineral-akışkan dengesi ile kontrol edilmektedir. Bu özelliği ile Na/K oranı yüksek sıcaklık zonlarını belirlemede etkilidir. Düşük Na/K oranı (~<15) yüzeye hızlı bir şekilde çıkma eğilimi ve yükselim yapıları ya da geçirimli zonlarla ilgilidir. Yüksek oranlar ise yanal akış, yüzeye yakın reaksiyonlar ve iletimli soğuma ile ilgilidir (Nicholson, 1993). İnceleme alanındaki sıcak suların Na/K oranı Tablo 4.21'de gösterilmiştir. Bu değerlere göre düşük Na/K oranına sahiptirler ve yüzeye hızlı çıkma eğilimindedirler.

Tablo 4.21 Sıcak suların Na/K oranı

KAYNAK ADI	VAKIFBAHÇE	ZEYNİNENE	HORHOR KADINLAR HAMAMI	KAYNARCA	KARAMUSTAFA
Na (mg/l)	31,46	32,2	27,88	168,2	141,3
K (mg/l)	4,56	4,6	4,1	22,4	17,2
Na/K	6,89	7	6,8	7,5	8,21

Jeotermal sularda Ca^{+2} konsantrasyonu genellikle 50 mg/l'den daha düşük değerlerdedir. Ancak bazı etkenler bu değerin yükselmesine neden olmaktadır. Bunlar; jeotermal akışkanlarda karbondioksit kısmi basıncının (P_{CO2}) düşmesiyle kalsit çökelimi oluşması, sıcaklık, ortamın asitliği ve tuzluluğun artması kalsiyum iyonunun konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır. Ayrıca, Na/Ca oranının yüksekliği akışkanın doğrudan rezervuardan beslendiğini göstermektedir (Nicholson, 1993).

Çekirge grubu sıcak su kaynakları, Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarına oranla daha düşük Ca^{+2} derişimi içerirler. Çekirge grubu sıcak su kaynaklarının Ca^{+2} değerleri 59,3-63,53 mg/l, Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarının ise 67,75 ve 69,54 mg/l arasındadır.

Yüksek sıcaklıklardaki jeotemal sular genellikle düşük miktarlarda (0,01-0,1 mg/l) Mg^{+2} iyonu konsantrasyonu içermektedir. Yüksek konsantrasyonlar yerel kayadan gelen yıkanma ile zenginleşmeyi gösterir (Nicholson, 1993).

Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarının Mg^{+2} derişimi 6,28 ve 6,43 mg/l, Çekirge grubu sıcak su kaynaklarının ise 19,31-19,89 mg/l arasındadır. Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarının Na^{+}, K^{+} ve Ca^{+2} derişimleri, Çekirge grubu sulara göre daha yüksek değerlerde olmasına rağmen, Mg^{+2} derişimi düşük değerlerdedir. Çekirge grubu sıcak su kaynaklarına soğuk suların karışmasıyla bu iyon değeri artmaktadır.

Doğrudan derinden beslenen jeotermal sularda HCO_3^- miktarı azdır. HCO_3/SO_4 oranının artması sıcaklık yükselim zonundan uzaklaşmayı işaret etmektedir (Ellis ve Mahon, 1977). Sıcak sularda HCO_3^- derişiminin yüksek olması bu suların evaporitik kayaçlarla etkileşim halinde olmadığını gösterir (Nicholson 1993).

Çekirge grubu sıcak su kaynaklarının HCO_3^- değerleri 312-366 mg/l, Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarının ise 585,6 mg/l değerindedir. HCO_3^- değerlerinin her iki grup suda yüksek olması doğrudan derinden beslenmediklerini ve çalışma alanında da gözlenmeyen evaporitik kayaların olmadığını desteklemektedir.

Derin kökenli jeotermal sularda SO_4^{-2} miktarı genellikle 50 mg/l'den azdır, bu durum hidrojen sülfidin (H_2S) oksidayonu sonucu SO_4^{-2} miktarının artmasıyla değişir. Yüzeydeki yüksek SO_4^{-2} miktarı (Cl^- miktarına eşit veya daha fazla olması) yüzeye yakın sulardaki buhar yoğunlaşması sonucu oluşur (Nicholson, 1993). Sülfidin yüzeydeki oksidasyonu ve sülfat minerallerinin yüksek sıcaklıkta çözünürlüklerinin az olması nedeniyle Cl/SO_4 oranı genellikle derin sularda fazladır (Ellis ve Mahon, 1977).

Çekirge grubu sıcak su kaynaklarının SO_4^{-2} değerleri 54-66 mg/l, Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarının ise 115 ve 123 mg/l arasındadır. Bölgede evaporitik kayaların bulunmaması, sıcaklığın yüksek olması ve özellikle Kaynarca kaynağında bu değerin yüksek olması hidrojen sülfidin (H_2S) oksidayonu sonucu SO_4^{-2} miktarının arttığını (Göknil, 1975) gösterir.

Jeotermal sularda Cl^- konsantrasyonu sıcak akışkanın doğrudan derinden beslendiği ya da soğuk yeraltısularıyla karıştığını belirlemede etkilidir. Yüksek Cl^- konsantrasyonu (200 mg/l) sıcak akışkanın derin kökenli olduğunu göstermektedir. Düşük Cl^-

konsantrasyonu ise bu sulara soğuk yeraltısularının karıştığını işaret etmektedir (Şahinci, 1986).

Çekirge grubu sıcak su kaynaklarının Cl^- değerleri 13,47-21,2 mg/l, Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarının ise 15,6 ve 27,6 mg/l arasındadır. Her iki grup suda düşük Cl^- değerleri soğuk suların karıştığını göstermektedir.

Doğal sularda florun kaynağı florit, apatit, mika ve amfibol gibi mineraller ile riyolit, pomza gibi volkanik kayaçlardır (Mahon, 1964). Jeotermal akışkanlarda flor içeriği genellikle 10 mg/l'nin altında bulunmaktadır (Nicholson, 1993). Çalışma alanında bulunan sıcak suların F^- içeriği 1 mg/l'nin altındadır.

4.8.2. Sıcak Suların Mineral Doygunlukları

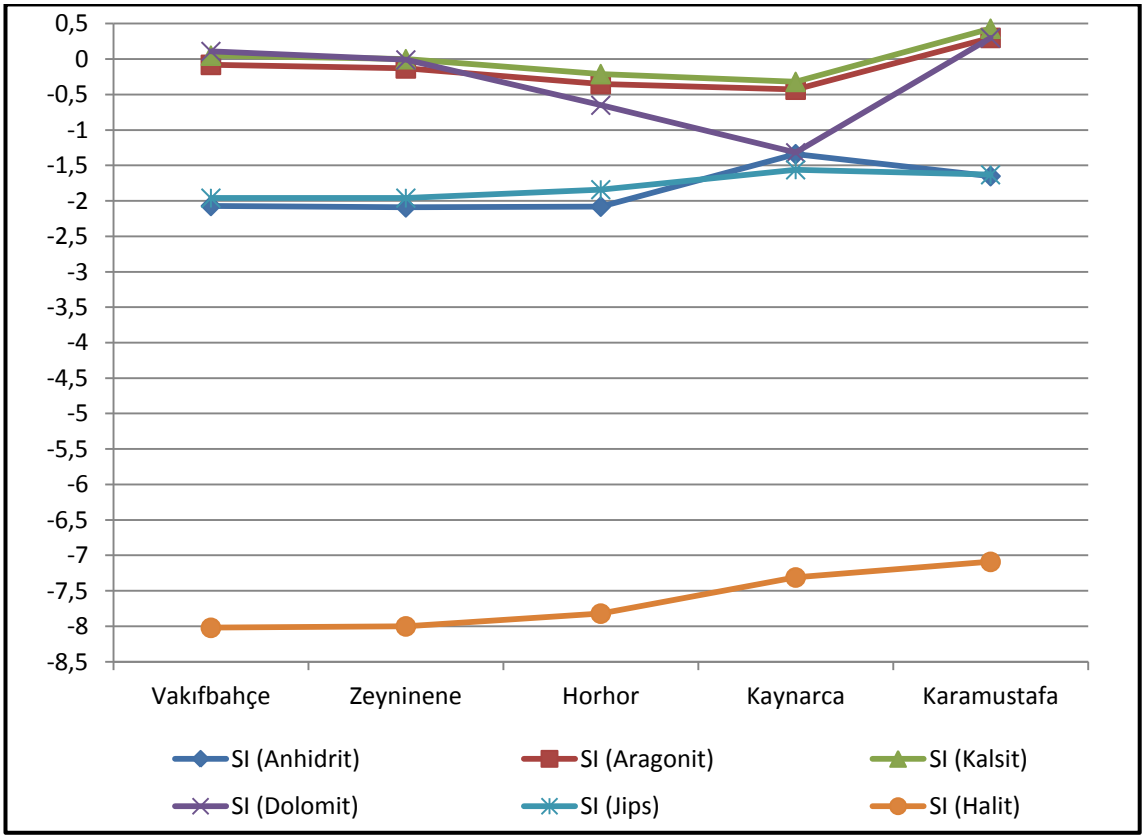
Sular, hidrolojik döngü sırasında kayaçlarla kimyasal tepkimeye girerler ve hidrokimyasal ortam hakkında bilgi verirler. Bunun için suların çeşitli mineraller bakımından doygunlukları incelenmektedir. Doygunluk indeksi (SI), suların çözünmüş mineraller açısından denge durumundan sapmalarını sayısal olarak belirtir (Apello ve Postma, 1996; Drever, 1996; Langmuir, 1997). Bir mineralin sudaki çözünürlük durumunun bir ifadesi olan doygunluk indeksi değeri log(Q/K) ya da log(IAP/K) şeklinde gösterilebilen bir logaritmik kavramdan oluşur. Her mineral için sıcaklıkla ve kısmen de basınçla değişen değerler içerir. Termodinamik yöntemlerle hesaplanan doygunluk indeksi (DI ya da SI) sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanır (Stumn ve Morgan, 1981):

SI(log IAP/K)=0 ise su ilgili mineral ile dengededir (doygundur)
SI(log IAP/K)>0 ise su ilgili mineral ile aşırı doygundur (minerali çökeltici özelliktedir)
SI(logIAP/K)<0 ise su ilgili mineral ile doygun değildir (minerali çözündürücü özelliktedir).

İnceleme alanında bulunan sıcak suların mineral doygunluk indeksleri hesaplamasında Aquachem programı kullanılmıştır. Hesaplamalar sıcak suların fiziksel ve kimyasal analiz sonuçlarıyla yapılmıştır. Sıcak suların doygunluk indeksi Tablo 4.22 ve Şekil 4.79'da verilmiştir.

Tablo 4.22 İnceleme alanındaki sıcak suların doygunluk indeksleri

	Vakıfbahçe	Zeyninene	Horhor	Kaynarca	Karamustafa
SI (Anhidrit)	-2,07	-2,09	-2,08	-1,34	-1,65
SI (Aragonit)	-0,08	-0,13	-0,35	-0,43	0,3
SI (Kalsit)	0,05	0	-0,21	-0,32	0,43
SI (Dolomit)	0,11	-0,01	-0,65	-1,32	0,3
SI (Jips)	-1,96	-1,96	-1,84	-1,56	-1,63
SI (Halit)	-8,02	-8	-7,82	-7,31	-7,09



Şekil 4.79 İnceleme alanındaki sıcak suların çeşitli minerallere göre doygunluk değerleri

İnceleme alanındaki sıcak suların biriktirme potansiyeline sahip olmadıkları ortak mineraller; anhidrit, jips ve halit mineralleridir. Vakıfbahçe sıcak suyu kalsit ve dolomit minerallerini suda biriktirebilir, aragonit mineraline doyma noktasındadır. Zeyninene sıcak suyu kalsit mineraliyle dengede, dolomit mineraliyle de doyma noktasındadır. Horhor Kadınlar Hamamı ve Kaynarca sıcak sularının bu mineralleri biriktirme potansiyelleri yoktur; ancak, kalsit ve dolomit mineralleri diğerlerine oranla doyma noktasına daha yakındır. Karamustafa sıcak suyu kalsit, dolomit ve aragonit

minerallerini suda tutabilir. Sıcak suların genel anlamda kalsit ve dolomite doygun olması beslenmelerinin ve hazne kayasının kireçtaşı olduğunu göstermektedir.

4.8.3. Jeotermometre

Jeotermal sistemde derinde ısınmış sıcak akışkanın temas ettiği kayaçlarla ısı alış verişi, çoğu zaman soğuk yeraltısularıyla karışımı, örtü kayacın yeterince var olmaması veya jeotermal sistemin açık olması gibi nedenlerle akışkanın sıcaklığı azalmaktadır. Akifer içerisindeki akışkanın sıcaklığı, mineral çözünürlüğü ve iyon değişimi temel alınarak oluşturulan jeotermometre bağıntılarıyla tahmin edilebilir.

Jeotermometrelerin uygulanmasında bazı temel varsayımların göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

1. Kimyasal reaksiyonlar sıcaklık denetimlidir.
2. Jeotermometre uygulamalarında kullanılan maddeler akifer kayada mevcuttur.
3. Akifer kayadaki mineraller ile akışkan arasındaki kimyasal denge tamamlanmıştır.
4. Sıcak suyun yüzeye çıkışı sırasında kimyasal yapısında meydana gelebilecek değişiklikler ihmal edilebilir boyutlardadır.
5. Yükselen sıcak sular soğuk yeraltı suları ile karışmamaktadır (White, 1970).

Jeotermometreler; kaynak veya kuyu başından alınan örneklerin kimyasal bileşimine (özellikle silis, katyon derişimi ve buhar içerisindeki gazların bağıl oranlarına) bağlı olan kimyasal jeotermometreler ve su-gaz-mineral fazları arasındaki değişime dayalı izotopik jeotermometre olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kimyasal jeotermometreler silis ve katyon jeotermometreleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu çalışma kapsamında katyon jeotermometreleri ile akifer sıcaklığı Aquachem programıyla tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Katyon jeotermometreler iyon takasına dayalı jeotermometrelerdir. İyon değişim denge sabitleri sıcaklığın etkisindedir. Suda iyon değişimine uğrayan birçok mineral bulunur ve bunlardan yararlanılarak bir çok ampirik jeotermometre geliştirilmiştir. İyon değişimi ve bozuşma reaksiyonlarında denge sabitleri sıcaklığa bağlıdır. Bu türdeki reaksiyonlarda çözünmüş katı madde oranları değişen sıcaklığa bağlı olarak değişiklik

gösterir (Fournier, 1977). Sıcaklığa bağlı olarak gelişen su-mineral dengeleri kullanılarak akifer sıcaklığının tahminine yönelik çeşitli jeotermometreler geliştirilmiştir (Tablo 4.23) (Gemici, 1999).

Katyon jeotermometrelerinden Na-K jeotermometresi yüksek sıcaklığa sahip jeotermal sistemlerde bir arada yer alan alkali feldispatlarda sıcaklığa bağlı Na^+ ve K^+ iyon değişimi reaksiyonları temeline dayanır. (Nicholson, 1993). Na-K jeotermometresinde teorik olarak hesaplanan sıcaklık gerçek ortamdaki sıcaklıktan farklılık gösterebilmektedir. Na-K jeotermometreleri, genellikle 180-350^oC arasında sıcaklığa sahip rezervuarlar için iyi sonuçlar verir (Ellis, 1979; Arnorsson, 1991). Daha düşük sıcaklıklarda, özellikle 120^oC'den düşük sıcaklıklarda başarısız olur. Bu sıcaklıklarda, Na ve K derişimleri, diğer minerallerden (kil mineralleri vb) etkilenebilir ve sadece feldispat iyon değişim tepkimesi tarafından kontrol edilmez. Bütün Na-K jeotermometreleri, 300^oC sıcaklığın üzerinde benzer sonuçlar verir (Nicholson, 1993). Na-K jeotermometresi kil minerallerinin bulunduğu sedimenter havzalardaki sıcak sularda uygulandığında hatalı sonuçlar alınabilmektedir (Arnorsson, 1991).

Na-K jeotermometresi düşük sıcaklıklı ve yüksek Ca'lu sularda genellikle daha yüksek sıcaklıklar verir. Bu durumun oluşmasında feldispatlar, kalsit veya Ca içeren mineraller ile jeotermal akışkanlar arasındaki dengenin neden olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle Fournier ve Truesdell (1973) Na-K-Ca jeotermometresini geliştirmişlerdir (Nicholson, 1993). Bu jeotermometrenin kullanımında, düşük sıcaklıklı ve magnezyumca zengin sularda normalden yüksek sıcaklıklar verecektir. Bu durumu düzeltmek için Fournier ve Potter (1979) Na-K-Ca jeotermometresine Mg düzeltmesini geliştirmişlerdir.

Tablo 4.23 Katyon jeotermometre eşitlikleri

Jeotermometre Türü	**Referans**	**Anlam Aralığı**
Na/K Jeotermometresi		
t°C= 856/[log(Na/K)+0.857]-273	Truesdell (1976)	100-275
t°C= 833/[log(Na/K)+0,780]-273	Tonani (1980)	
t°C= 933/[log(Na/K)+0,993]-273	Arnorsson ve diğ. (1983)	25-250
t°C= 1319/[log(Na/K)+1,699]-273	Arnorsson ve diğ. (1983)	250-350
t°C= 1217/[log(Na/K)+1,483]-273	Fournier (1979b)	
t°C= 1178/[log(Na/K)+1,470]-273	Nieva ve Nieva (1987)	
t°C= 1390/[log(Na/K)+1,750]-273	Giggenbach ve diğ. (1983)	
(t < ~120°C ve Na, K derişimi mg/Kg'dır)		
Na-K-Ca Jeotermometresi		
t°C= 1647/{log(Na/K)+β[log(√Ca/Na)+ 2,06]+2,47}-273	Fournier veTruesdell (1973)	
Mg düzeltme formülleri:		
R=[Mg/(Mg+0,61Ca+0,31K)]x100 $\Delta tMg = 10,664-4,7415logR+325,87(logR)^2-1,032x10^5(logR)^2/T_{NaKCa}-1,968x\ 10^7(logR)/T^2_{\ NaKCa}+1,605x10^7(logR)^3/T^2_{NaKCa}$ …..(5<R<50) $\Delta tMg = -1,03+59,971logR+145,05(logR)^2-36711(logR)^2/T_{NaKCa}-1,67x\ 10^7logR/T^2_{NaKCa}$ ……(R<5) $t°C= t_{NaKCa}-\Delta t_{Mg}$		
(Na, K, Ca derişimi mol/Kg'dır)		

Çekirge grubu sıcak su kaynakları Na-K-Ca jeotermometresine göre 154-159°C, Na-K-Ca (Mg düzeltmeli) jeotermometresine göre 44-47 ^{o}C, Na-K jeotermometresi için farklı araştırmacıların geliştirmiş olduğu formüller kullanılarak hesaplanan akifer sıcaklıkları 228-508 ^{o}C arasında değişmektedir.

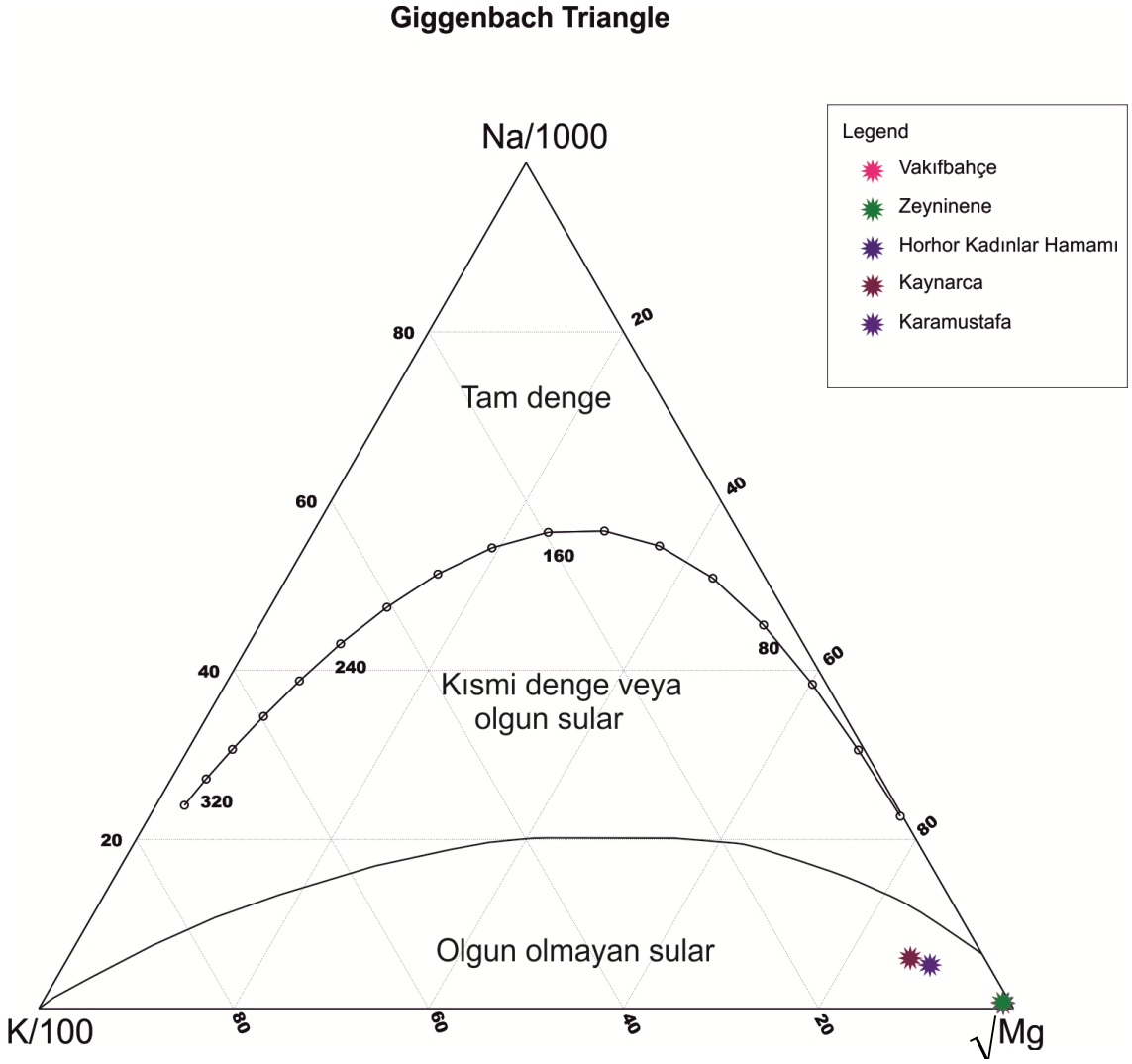
Kükürtlü grubu sıcak su kaynakları Na-K-Ca jeotermometresine göre 176-184°C, Na-K-Ca (Mg düzeltmeli) jeotermometresine göre 128-131°C, Na-K jeotermometresi için farklı araştırmacıların geliştirmiş olduğu formüller kullanılarak hesaplanan akifer sıcaklıkları 224-482 ^{o}C arasında değişmektedir.

Giggenbach (1988) jeotermal suların akifer sıcaklıklarını belirlemede kullanılacak güvenilir jeotermometre seçimi amacıyla, su-kayaç ilişkisinin dengede olup olmadığının

kontrolünün saptanması için Na-K-Mg üçgen diyagramını geliştirmiştir. Bu diyagramda Giggenbach (1988) jeotermal suları üç gruba ayırmaktadır. (i) Su-kayaç ilişkisinin dengede olmadığı (ham sular), (ii) Su-kayaç ilişkisinin kısmen dengede olduğu (karışmış sular), (iii) Su-kayaç ilişkisinin tam dengede olduğu sulardır. Giggenbach (1988), su-kayaç ilişkisinin dengede olmadığı (ham sular) ve kısmen dengede olduğu bölümlerinde yer alan sıcak suların katyon jeotermometreleriyle hesaplanan akifer sıcaklıklarına şüpheyle yaklaşılması gerektiğini belirtmiştir.

Çekirge ve Kükürtlü sıcak su grupları Na-K-Mg üçgen diyagramında, sıcak suların soğuk sularla karışımından oluşan ham sular bölümünde yer almaktadır (Şekil 4.80). Karışım halinde olan bu sular tekrar dengeye ulaşamadan yüzeye çıkmaktadırlar. Ham sularda katyon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları karışımdan sonraki sıcaklığı vermesi nedeniyle tümü güvenilir olarak kabul edilmemelidir.

Imbach (1997), her iki termal su grubunun Cl^- değerinin 10 mg/l'den düşük olmasıyla akifer sıcaklığının 200^oC az olması beklendiği, kalsedon jeotermometresi uygulanan, trityum analiziyle iki farklı sistem olduğunu (Trusdell, 1975) ve bunların sonucunda Kükürtlü grubu termal suları için minimum rezervuar sıcaklığının yaklaşık 111^oC, Çekirge grubu termal suları için ise yaklaşık 52^oC olduğunu tespit etmiştir.

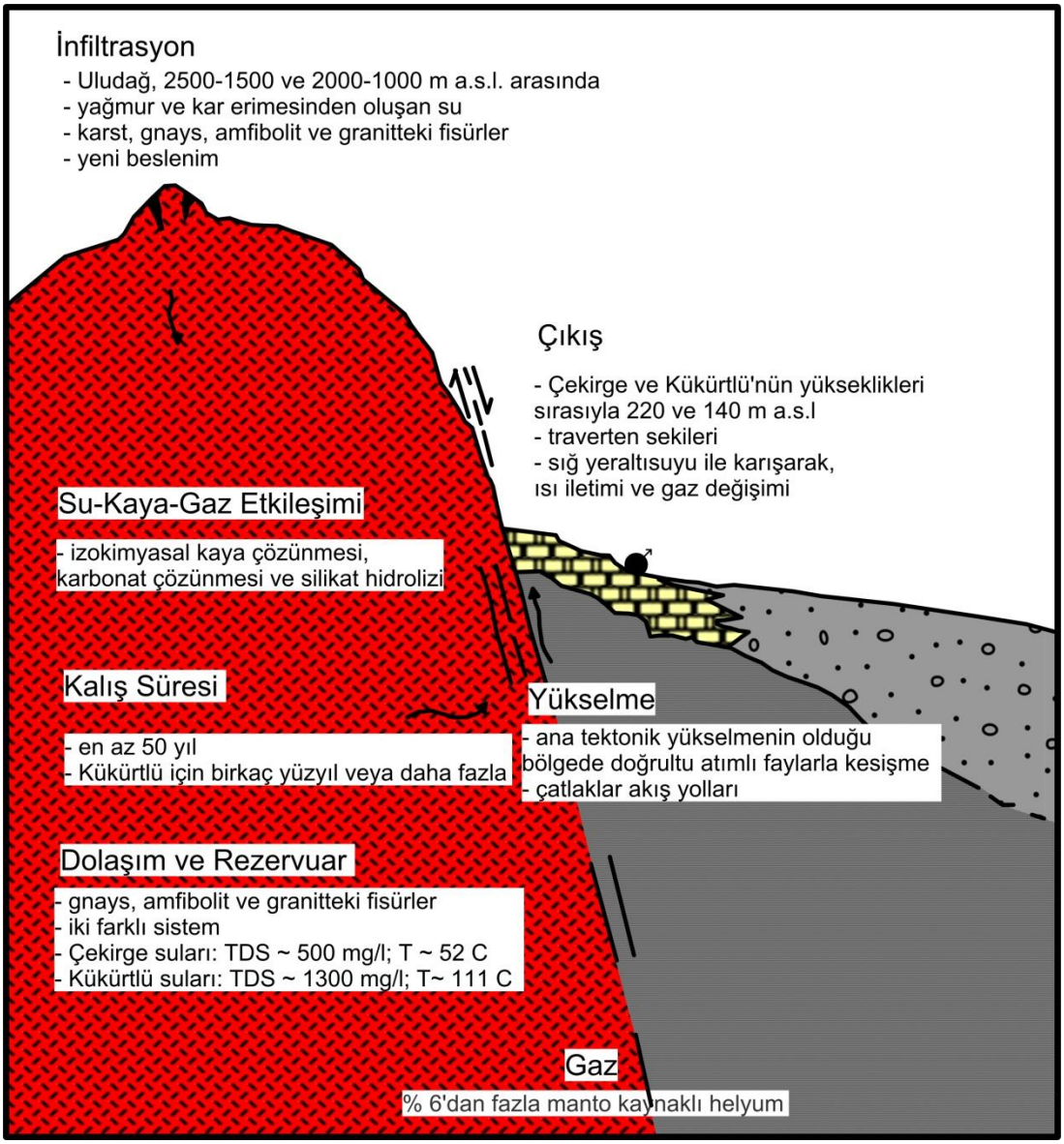


Şekil 4.80 Sıcak suların Na-K-Mg üçgeni (Giggenbach, 1988)

4.8.4. Jeotermal Suların Hidrojeolojik Dolaşım Modeli

Uludağ'a yağan kar ve yağmur suları (meteorik sular) süzülmeyle derinlere ulaşmakta ve ısınmaktadır. Bölgedeki sıcak suların Uludağ'dan beslenimi farklı kotlardan dolayısıyla farklı litolojilerden olmaktadır. Kükürtlü grubu sıcak suları 2500-1500 m yükseklikte Uludağ mermerinden beslenirken, Çekirge grubu sıcak suları 2000-1000 m yükseklikte muhtemelen Uludağ plato bölgesindeki lökogranitten beslenmektedir. Her iki su grubu da Uludağ metamorfitlerinde su-kaya-gaz etkileşimiyle mineralize olmuşlardır. Su-kaya etkileşiminde kalsit çözünmesi ve silikat hidrolizi baskındır ve iki su grubu da kendi dolaşımı sırasında kabuk ve mantodan gelen gazlar ile etkileşim halindedir. Kükürtlü grubu sıcak sularının su-kaya-gaz etkileşiminde mineralizasyonu $120^{o}C$'den az sıcaklıkta CO_2 basıncı tarafından yönetilmekte olduğu ve dolaşım süresinin 50 yıl ve daha fazla olması gerektiği beklenmektedir. Çekirge grubu sıcak sularının etkileşimi $50^{o}C$'den az sıcaklıktaki çevre koşullarında atmosferik CO_2 basıncı tarafından kontrol edilmekte ve dolaşım süresi 50 yıldan daha az olduğu düşünülmektedir (Imbach, 1997a) (Şekil 4.81). Çekirge jeotermal sisteminin bölgesel basınç alanı doğrudan yağışların etkilediği sığ yeraltısuyundan etkilenmektedir (Imbach, 1997b).

Erişen ve Öngür (1976) ise Çekirge ve Kükürtlü grubu sıcak su kaynakları aynı orijinli oldukları, ancak kaynakların çıkış yolları boyunca temasta oldukları litolojilerin farklılığı ve soğuk yeraltısularının karışması nedeniyle fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değiştiğini, iki farklı grupta toplandığını belirtmişlerdir. Çekirge grubu sıcak su kaynakları KD-GB doğrultulu kırıklarla ilişkili olarak, Kükürtlü grubu sıcak su kaynakları ise KB-GD doğrultulu kırıklara bağlı olarak yüzeyde belirirler. Çekirge grubu sıcak su kaynakları Neojen seviyelerde soğuk yeraltısuları ile karışarak hem sıcaklıklarının büyük bir kısmını kaybederler, hem de daha az mineralize sıcak su haline geldiklerini açıklamışlardır. Kaynarca kaynağı, Uludağ metamorfik şistleri ve mermerlerden yüzeye çıkmaktadır. Sıcak suyun kaptaj yerinde traverten çökelleri bulunmaktadır. Karamustafa kaynağı ise Neojen formasyon ile traverten çökelimi dokanağından yüzeye çıkmaktadır. Karamustafa kaynağı, Kükürtlü grubu kaynaklarından daha düşük kotta olması nedeniyle yüzey suları ile yakın ilişkilidir. Bu durum kaynağın sıcaklığının düşük ve kimyasal bileşiminin farklı olmasına neden olur.



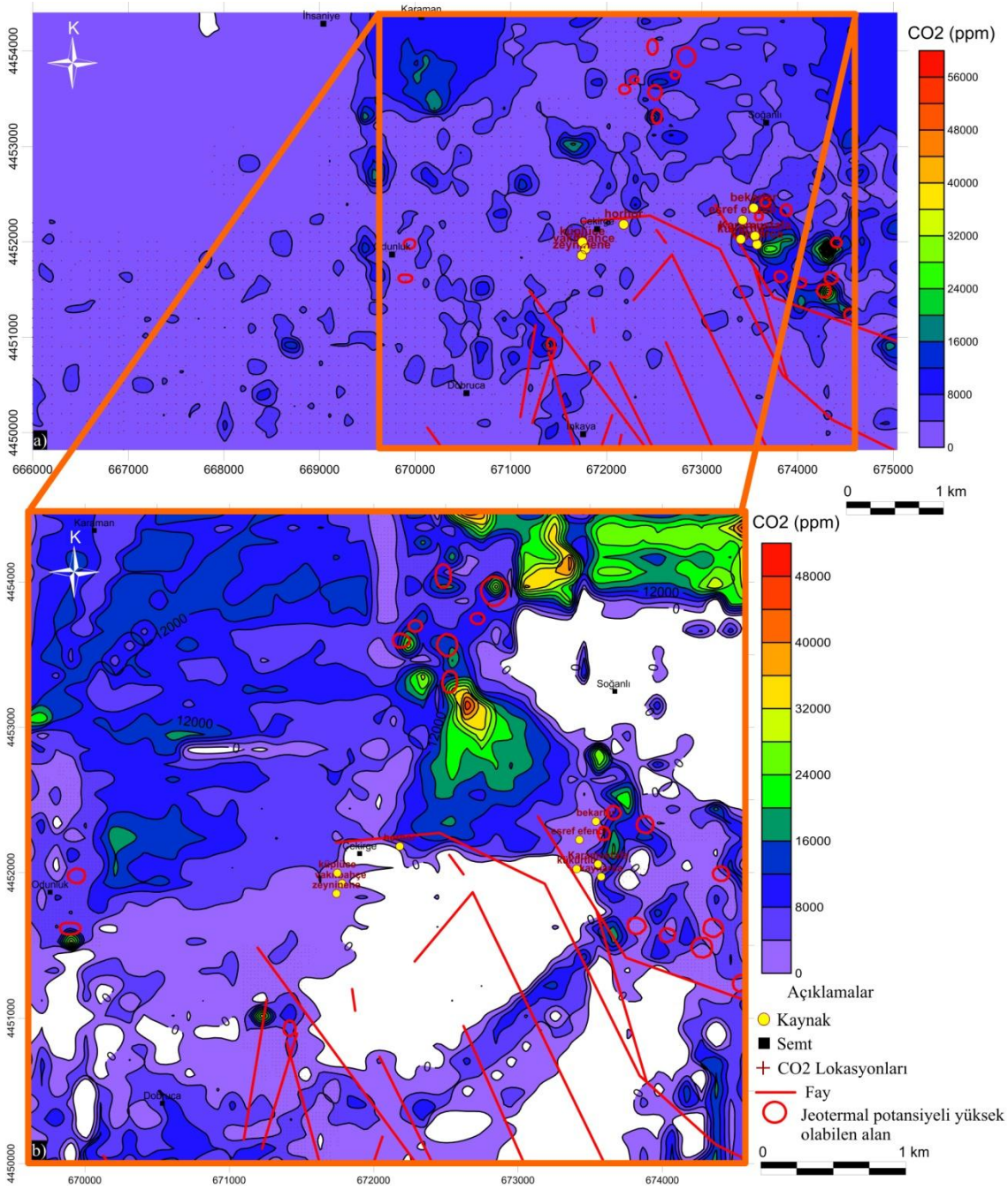
Şekil 4.81 Jeotermal suyun basitleştirilmiş dolaşım modeli (Imbach, 1997b'den sadeleştirilmiştir.)

4.8.5. Jeotermal Sahada CO_2 Gazı Ölçümü

Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen jeotemal kaynakların gereksinimi gün geçtikçe artan öneme sahiptir. Mevcut kaynakların birçoğu yeterince araştırılmamış olup, sığ jeotermal alanlar olarak kullanılmaktadır. Günümüzde jeotermal kaynaklara duyulan ihtiyaç nedeniyle yeni kaynakların bulunması ve var olanların revize edilmesi için yeni araştırma teknikleri geliştirilmiştir. Yüzeyde belirgin özellikler göstermeyen fay ve kırıkların belirlenmesi için toprak gazı ölçümlerinden yararlanılmaktadır. Bu tekniklerden biri olan toprakta CO_2 gazı ölçümü bu çalışmada kullanılmıştır.

CO_2 genelde volkanik ve jeotermal alanlarda yaygın halde bulunan gazlardan biridir. CO_2 yeraltında farklı kaynaklardan türeyebilmektedir: manto (volkanik aktiviteler sonucu magmatik kökenli), karbonat metamorfizması (termal dekarboksilasyon), organik maddelerin termal veya bakteriyel degredasyonu ve yüzeysel biyolojik aktiviteler (Irwın ve Barnes, 1980). Bu kaynaklara ek olarak, CO_2'in sismik aktivitelere bağlı olarak mekanik olarak da oluşabileceği gösterilmiştir (Italiano ve diğ. 2009). Yüksek CO_2 oranları (%50 yi aşan), genellikle kabuksal ve mantosal kaynaklarla ilişkilendirilirken daha düşük oranda izlenen CO_2 miktarları genelde organik/biyolojik kökeni yansıtmaktadır. CO_2 gazı topraktan atmosfere difüzyon şeklinde yayılmaktadır.

İnceleme alanında toprakta CO_2 gazı ölçümü için Ekim-2011 döneminde 100 m aralıklarla 2503 noktada ve 25 m aralıklarla 4552 noktada ölçüm yapılmıştır. Alanda yapılan CO_2 gazı ölçümü sonucunda ulaşılan değerler Şekil 4.82'de gösterilmektedir. Bölgede 100 m aralıklarla yapılan ölçümler sonucu oluşturulan kontur haritası Şekil 4.82 a'da, 25 m aralıklarla ölçülen değerler ise Şekil 4.82 b'de sunulmuştur. Şekil 4.82 b'de CO_2 gazı ölçümlerinin yüksek değerler göstererek kapanım yaptıkları alanlar daha net görülebilmektedir. Yapılan ölçümlerde özellikle Soğanlı'nın batısı ve güneyindeki alanlar ile Odunluk'un güneydoğusunda CO_2 gazının daha yüksek değerlerde bulunmasının sebebi, alüvyon ve yamaç molozunun örttüğü gömülü fay ve/veya kırıkların bulunması ile ilişkili olabileceği şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca, Dobruca'nın kuzeydoğusunda CO_2 gazı ölçümünün yüksek değerlerde olması bölgede bulunan faylara yakın olduğuyla ilişkilendirilebilir.



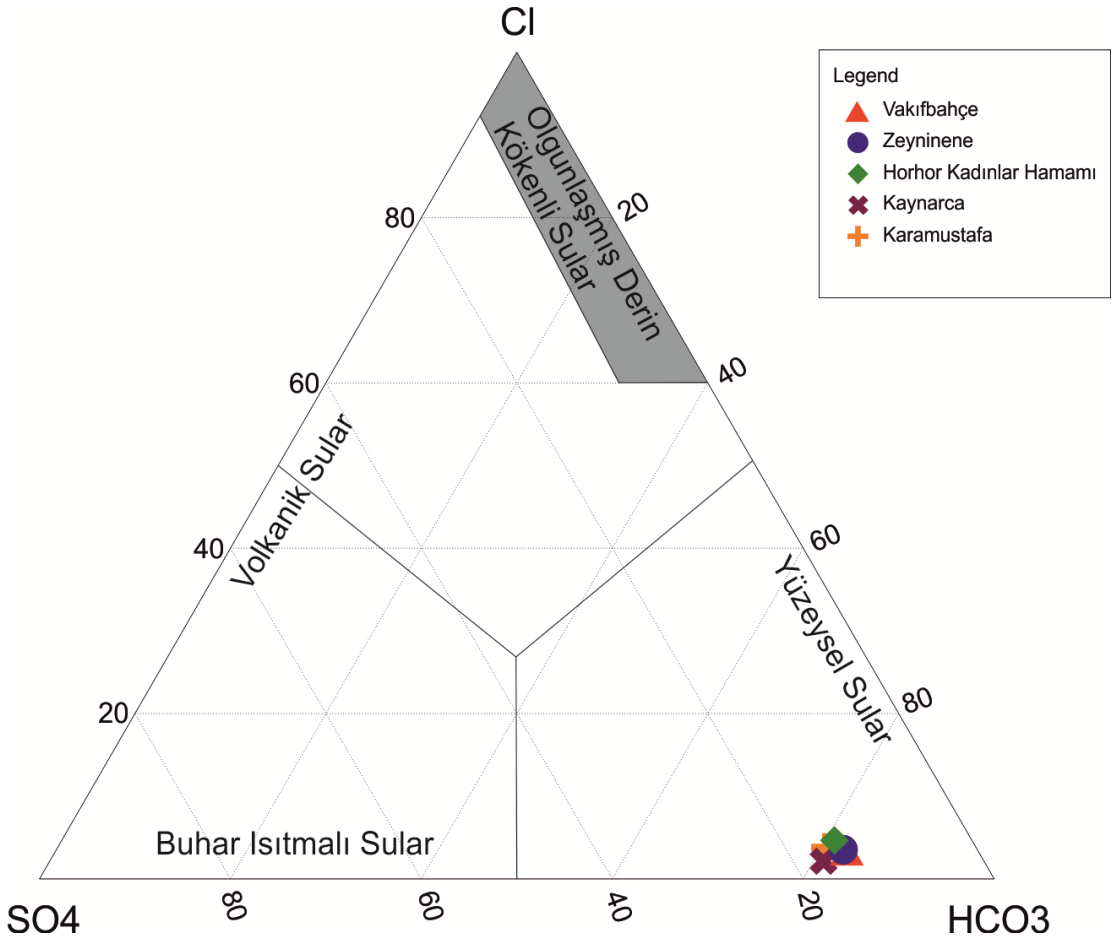
Şekil 4.82 a) İnceleme alanında 100 m aralıklı ölçülen CO_2 gazı (ppm) haritası. b) İnceleme alanında 25 m aralıklı ölçülen CO_2 gazı (ppm) haritası

4.8.6. Sıcak Ve Soğuk Suların Fasiyes Tipleri Ve Sınıflaması

Çalışma alanında derlenen soğuk ve sıcak su örneklerinin analiz sonuçları Cl-SO_4-HCO_3, Piper (üçgen), Schoeller ve Durov diyagramlarında değerlendirilmiştir.

4.8.6.1. Cl-SO_4-HCO_3 Diyagramı

Jeotermal suların sınıflamasında Cl-SO_4-HCO_3 üçgen diyagramı oldukça yararlıdır. Bu diyagramla suların baskın iyonuna göre olgunlaşmış derin kökenli sular, volkanik sular, yüzeysel sular ve buhar ısıtmalı sular olarak sınıflandırılır (Giggenbach, 1988). İnceleme alanında kimyasal analizi bulunan sıcak suların baskın iyonu HCO_3'tır ve yüzeysel sular sınıfındadırlar (Şekil 4.83). Bunun ışığında sıcak suların soğuk sularla karışım halinde olduğu bir kez daha gözlenmiştir.



Şekil 4.83 Sıcak suların Cl-SO_4-HCO_3 sınıflaması (Giggenbach, 1988)

4.8.6.2. Piper Diyagramı

Su analizlerinin aynı diyagram üzerinde çizilmesini ve suların adlamasının yapılmasını sağlamaktadır. Piper diyagram, bir eşkenar dörtgen ve kenarları 50 eşit parçaya bölünmüş iki eşkenar üçgenden oluşmaktadır. Su örneklerinin katyon (Ca^{+2}, Mg^{+2}, Na^{+}-

K^+) ve anyonları (HCO_3-+CO_3^{-2}, SO_4^{-2}, Cl^-) %mek/l cinsinden üçgen diyagramlar üzerine işaretlenir ve eşkenar dörtgende kesiştirilerek suların adlaması yapılır. Piper diyagram 9 bölgeye ayrılmıştır. Piper diyagramda ayrılan bölgelerin sınıflaması aşağıda verilmiştir.

1. bölgede; $(Ca^{+2} + Mg^{+2}) > (Na^+ + K^+)$ olup bu kısma giren sular, karbonatlı ve sülfatlı sulardır.

2. bölgede; $(Na^+ + K^+) > (Ca^{+2} + Mg^{+2})$ olup bu kısma giren sular tuzlu ve sodalıdır.

3. bölgede; $(HCO_3^- + CO_3^{-2}) > (Cl- + SO_4^{-2})$'tür.

4. bölgede; $(Cl^- + SO_4^{-2}) > (HCO_3^- + CO_3^{-2})$'tür.

5. bölgede; karbonat sertliği > karbonat olmayan sertlik vardır. Bu tip sular $CaCO_3$ ve $MgCO_3$'lı sulardır.

6. bölgede; karbonat olmayan sertlik > karbonat sertliği vardır. Bu tip sular $CaSO_4$ ve $MgSO_4$'lı sulardır.

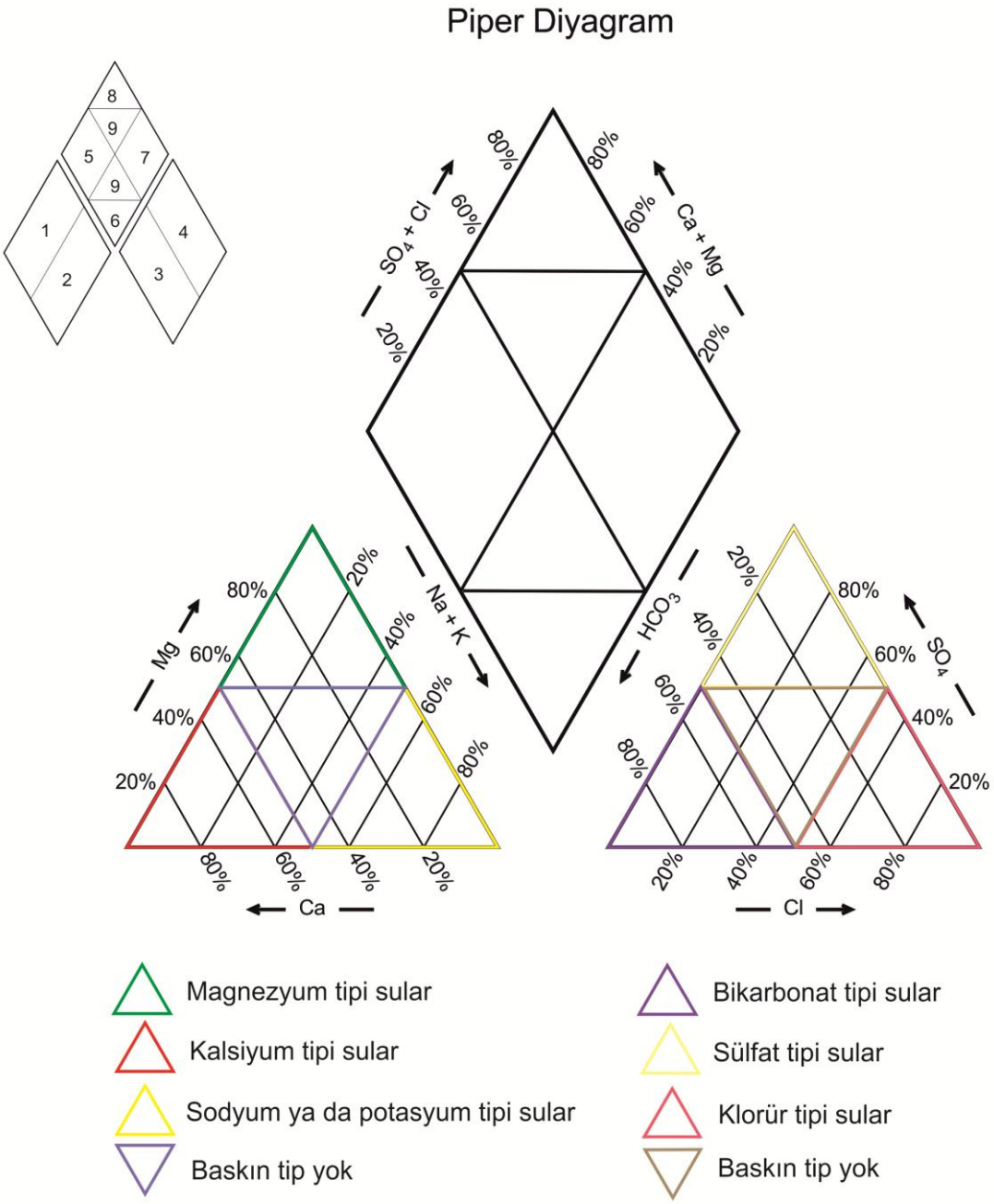
7.bölgede; karbonat olmayan alkaliliği > karbonat alkaliliği vardır. NaCl, Na_2SO_4 ve KCl'li sulardır.

8.bölgede; karbonat alkaliliği > karbonat olmayan alkalilik vardır. Aşırı yumuşak sulardır.

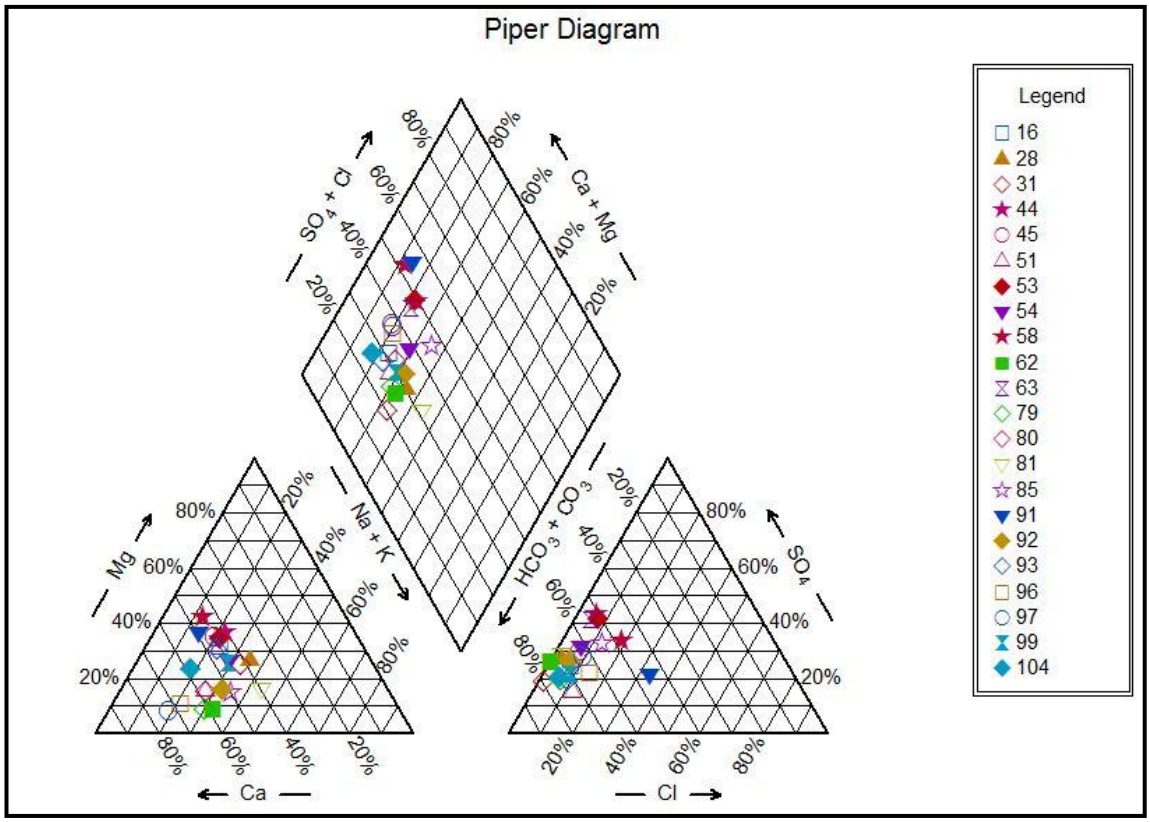
9. bölgede; hiçbir iyonu %50'yi geçmeyen karışık sular bulunur (Piper, 1944) (Şekil 4.84).

İnceleme alanında bulunan soğuk ve sıcak suların Piper diyagramları AqQA programında hazırlanmıştır.

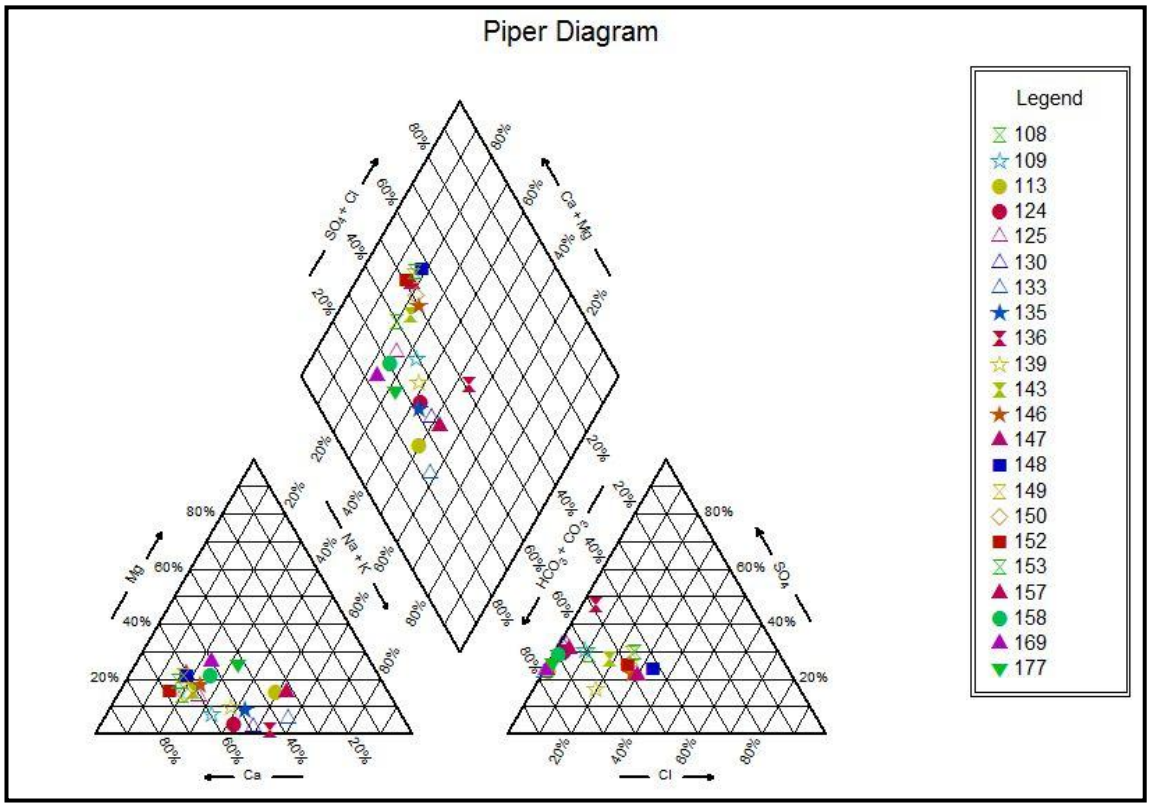
Çalışma alanındaki 58, 91, 133, 147, 148, 149, 150, 153, 157 no'lu kuyu suları 9. bölgede, karışık sular sınıfındadır. 136 no'lu kuyu suyu ise 7. bölgede, NaCl, Na_2SO_4 ve KCl'li sular sınıfındadır. Çalışma alanında analizi yapılan diğer kuyu suları ise 5. bölgede, $CaCO_3$ ve $MgCO_3$'lı sular sınıfındadır. Ca-Mg-Na+K üçgeninde 133, 136 ve 157 no'lu kuyu suları Na ve K tipi sular, 51, 62, 79, 80, 92, 96, 97, 104, 108, 109, 124, 125, 139, 143, 146, 147, 148, 149, 150, 152, 153, 158 ve 169 no'lu kuyu suları Ca tipi sular ve diğer kuyular ise baskın tip yok sınıfındadır. Cl-SO_4-HCO_3 üçgeninde 44, 53, 58, 91, 136, 147, 148, 149, 150, 152 ve 153 no'lu kuyu suları baskın tip yoktur; diğerleri ise HCO_3 tipi sular sınıfındadır (Şekil 4.85 ve Şekil 4.86).



Şekil 4.84 Piper Diyagramda sınıflama bölümleri

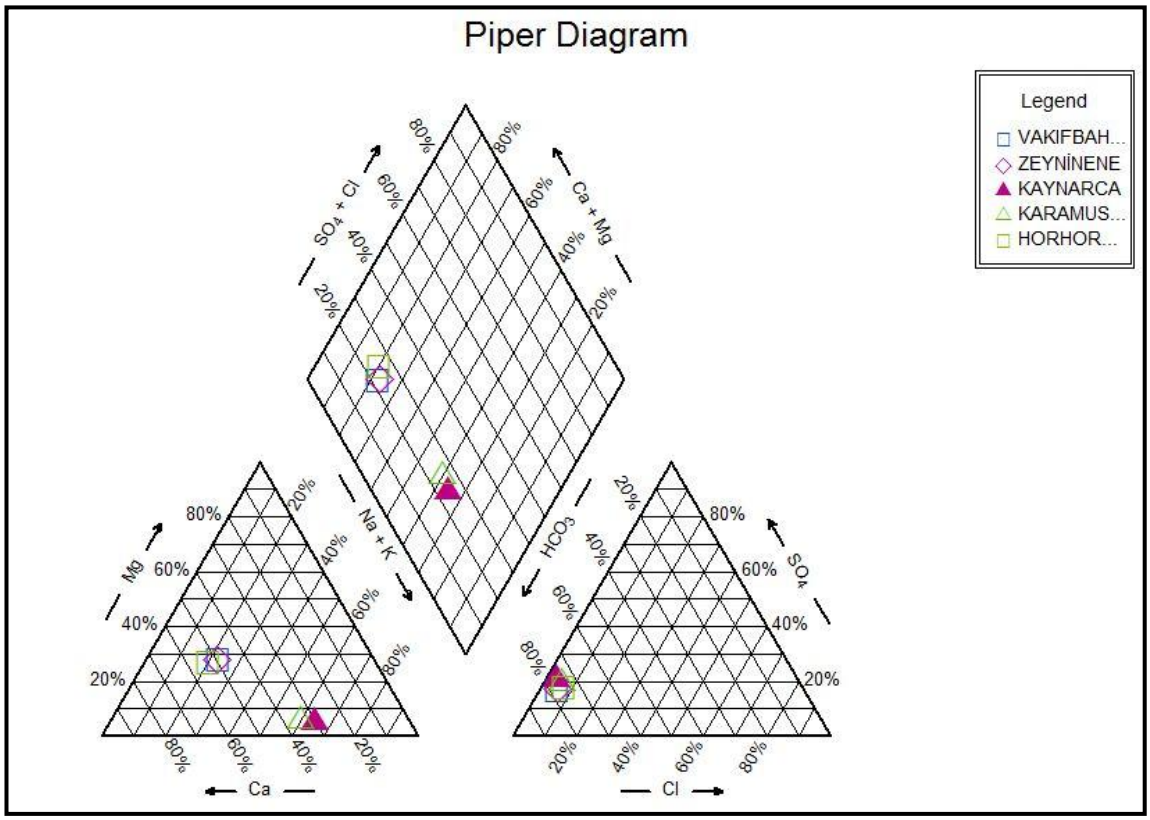


Şekil 4.85 Bursa Ovası'na ait kuyu sularının Piper Diyagramı



Şekil 4.86 Bursa Ovası'na ait kuyu sularının Piper Diyagramı

Sıcak sular Piper diyagramına göre; Vakıfbahçe, Zeyninene ve Horhor Kadınlar Hamamı suları 5. bölgede $CaCO_3$ ve $MgCO_3$'lı sular sınıfındadır; Kaynarca ve Karamustafa kaplıca suları 9. bölgede karışık sular sınıfındadır. Ca-Mg-Na+K üçgeninde Vakıfbahçe ve Zeyninene suları baskın tip yok, Horhor Kadınlar Hamamı suyu Ca tipi sular, Kaynarca ve Karamustafa suları ise Na tipi sular sınıfındadır. Cl-SO_4-HCO_3 üçgeninde ise sıcak sular HCO_3 tipi sular sınıfındadır (Şekil 4.87).



Şekil 4.87 Bursa Ovası'ndaki jeotermal suların Piper Diyagramı

4.8.6.3. Schoeller Diyagramı

Schoeller diyagramı, suların kökenlerini belirlemede sık kullanılmaktadır. Schoeller diyagramının yatay ekseni aritmetik ölçeklidir; SO_4, HCO_3+CO_3, Cl, Mg, Ca, Na+K iyonları sıralanır. Diyagramın düşey ekseni logaritmik ölçeklidir ve mek/l cinsindendir. Su analiz sonuçlarının mek/l cinsinden değerleri grafik üzerine işaretlenir ve oluşan çizgiler su örneklerini temsil eder. Schoeller suları; klorür, sülfat ve bikarbonat miktarlarına göre sınıflamaktadır (Schoeller, 1955). Bu sınıflama Tablo 4.24'te verilmiştir.

Tablo 4.24 Schoeller (1955) klorür, sülfat, karbonat-bikarbonat sınıflaması

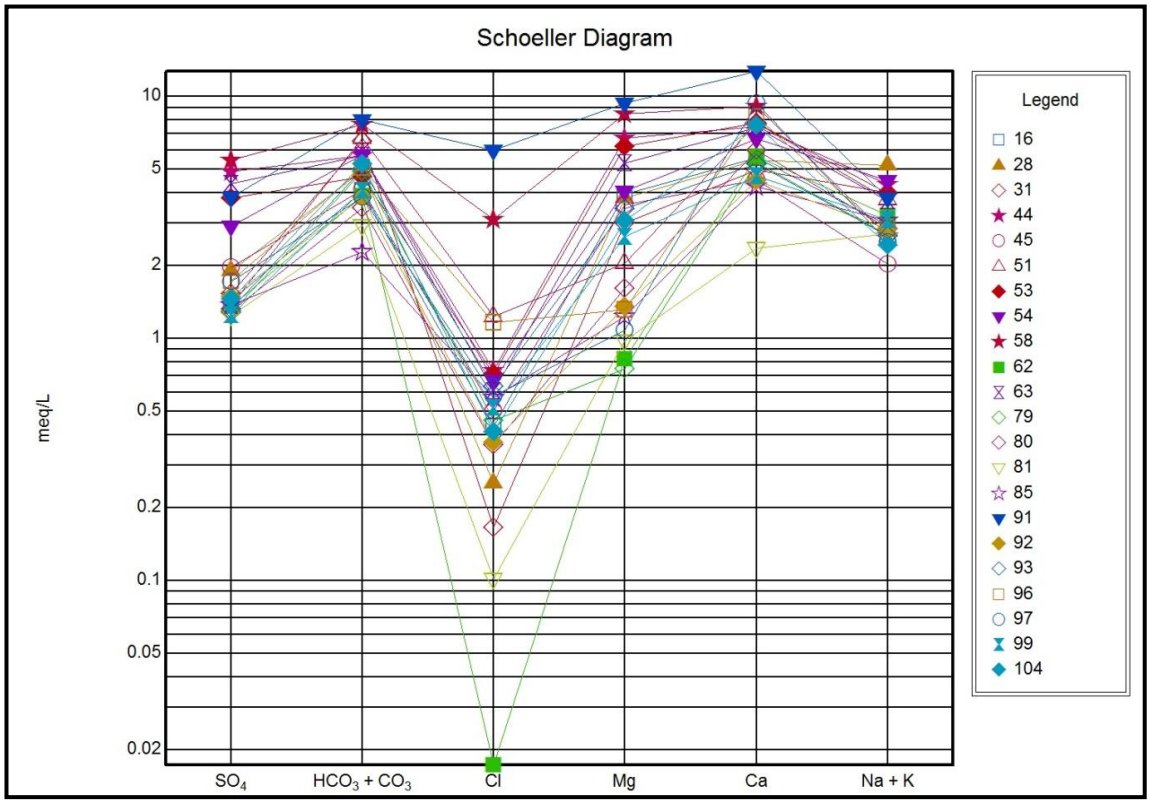
KLORÜR SINIFLAMASI	
Klorür Sınıflaması	Klorür Miktarı (mek/l)
Hiperklorürlü Sular	>700
Klorotalasik Sular	420-700
Klorürce Zengin Sular	140-420
Orta Klorürlü Sular	40-140
Oligoklorürlü Sular	15-40
Olağan Klorürlü Sular	<15
SÜLFAT SINIFLAMASI	
Sülfat Sınıflaması	Sülfat Miktarı (mek/l)
Hiposülfatlı Sular	>58
Sülfatlı Sular	24-58
Oligosülfatlı Sular	6-24
Olağan Sülfatlı Sular	<6
KARBONAT-BİKARBONAT SINIFLAMASI	
Karbonat-Bikarbonat Sınıflaması	Karbonat-Bikarbonat Miktarı (mek/l)
Hiperkarbonatlı Sular	>7
Olağan Karbonatlı Sular	2-7
Hipokarbonatlı Sular	<2

İnceleme alanındaki soğuk sular klorür sınıflamasına göre olağan klorürlü sular, sülfat sınıflamasına göre olağan sülfatlı sular, karbonat-bikarbonat sınıflamasına göre 136 no'lu kuyu hipokarbonatlı sular, 16, 28, 31, 44, 45, 51, 53, 54, 62, 63, 79, 80, 81, 85, 92, 93, 96, 97, 104, 108, 109, 113, 124, 125, 130, 133, 135, 139, 143, 146, 147, 148, 149, 150, 152, 153, 157, 158, 169, 177 no'lu kuyular olağan karbonatlı sular, 58 ve 91 no'lu kuyular ise hiperkarbonatlı sular sınıfındadır.

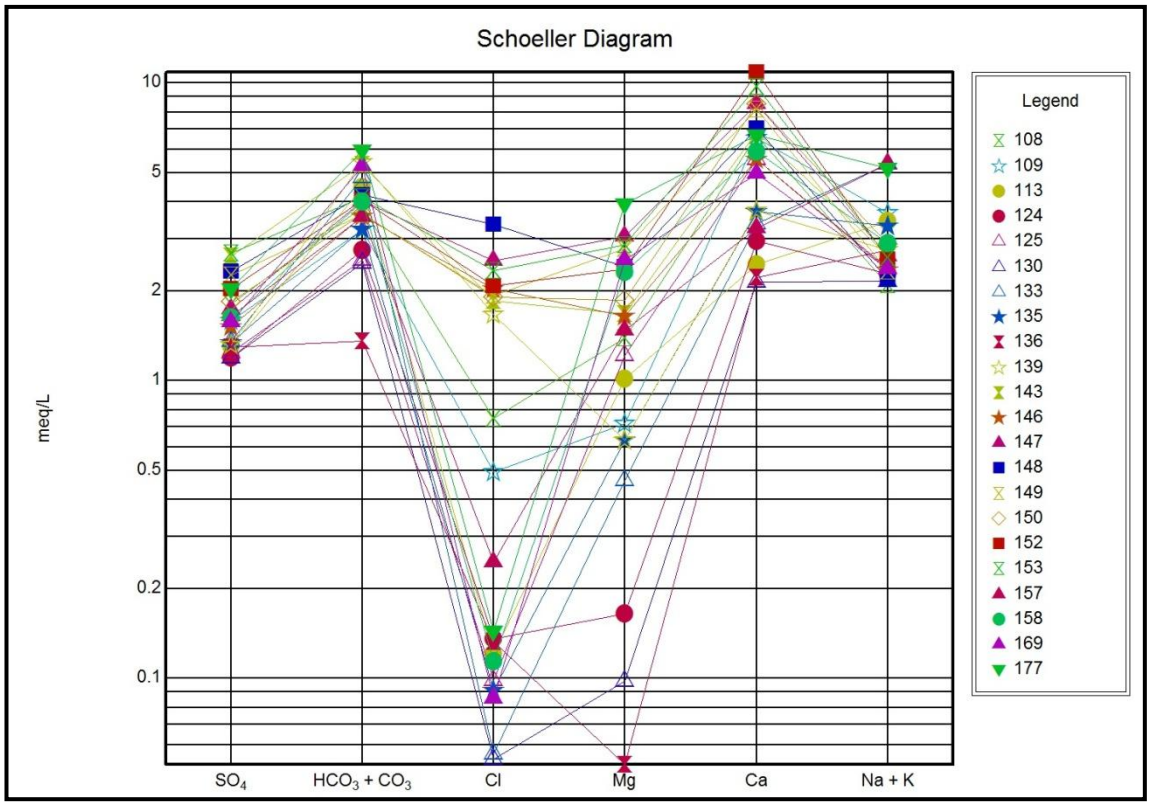
İnceleme alanındaki sıcak sular klorür sınıflamasına göre olağan klorürlü sular, sülfat sınıflamasına göre olağan sülfatlı sular, karbonat-bikarbonat sınıflamasına göre Vakıfbahçe, Zeyninene ve Horhor Kadınlar Hamamı suları olağan karbonatlı sular, Kaynarca ve Karamustafa suları hiperkaronatlı sular sınıfındadır.

Çalışma alanındaki sıcak ve soğuk suların Schoeller diyagramları aynı kökenli, aynı akifer ve beslenme alanına sahip suların iyon dağılımları benzerlik göstermektedir. Buna göre, 81, 113, 130, 133, 136 ve 157 no'lu kuyu sularının baskın katyonu $Na^{+}+K^{+}$ iyonu, baskın anyonu HCO_3^{-}'tır. Bu suların hidrokimyasal fasiyesi Na-HCO_3^{-}'tır. Diğer suların baskın katyonu Ca^{+2} iyonu, baskın anyonu ise HCO_3^{-} iyonu; hidrokimyasal

fasiyesleri Ca-HCO_3'tır (Şekil 4.88 ve Şekil 4.89). Schoeller diyagramlarına göre soğuk suların iyon sıralamaları Tablo 4.25'te verilmiştir.



Şekil 4.88 Bursa Ovası'na ait kuyu sularının Schoeller Diyagramı

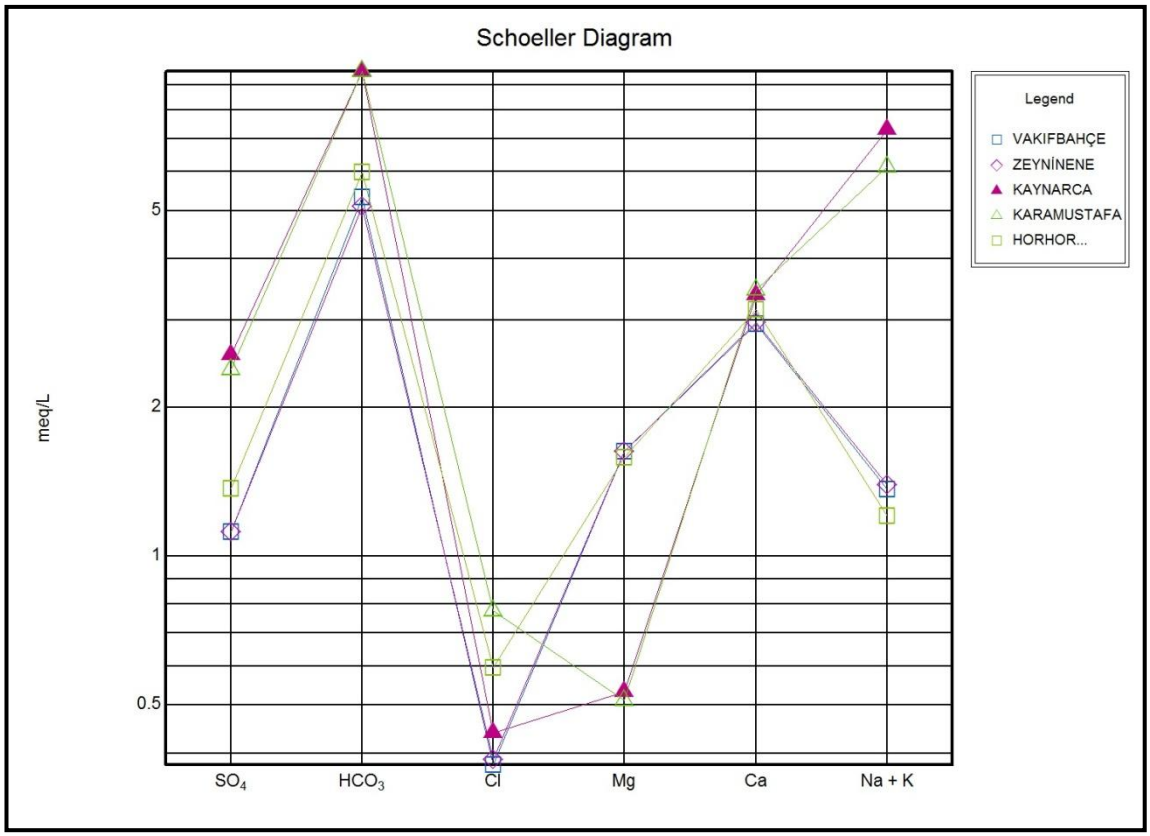


Şekil 4.89 Bursa Ovası'na ait kuyu sularının Schoeller Diyagramı

Tablo 4.25 Bursa Ovası'na ait kuyu sularının Schoeller Diyagramına göre iyon sıralaması

Kuyu No	Hidro-kimyasal Fasiyes	Katyonlar	Anyonlar
16, 44, 45, 53, 58, 63, 93, 104, 149, 153, 169	Ca-HCO3	$r(Ca^{+2})> r(Mg^{+2})> r(Na^{+})$	$r(HCO_3^{-})> r(SO_4^{-2})> r(Cl^{-})$
28, 31, 51, 54, 62, 79, 80, 85, 92, 96, 97, 99, 108, 109, 124, 125, 135, 143, 158, 177	Ca-HCO3	$r(Ca^{+2})> r(Na^{+}) > r(Mg^{+2})$	$r(HCO_3^{-})> r(SO_4^{-2})> r(Cl^{-})$
81, 113, 130, 133, 136, 157	Na-HCO3	$r(Na^{+})> r(Ca^{+2}) > r(Mg^{+2})$	$r(HCO_3^{-})> r(SO_4^{-2})> r(Cl^{-})$
91, 147, 148	Ca-HCO3	$r(Ca^{+2})> r(Mg^{+2})> r(Na^{+})$	$r(HCO_3^{-})> r(Cl^{-}) > r(SO_4^{-2})$
139, 146, 150, 152	Ca-HCO3	$r(Ca^{+2})> r(Na^{+}) > r(Mg^{+2})$	$r(HCO_3^{-})> r(Cl^{-}) > r(SO_4^{-2})$

Çalışma alanındaki Vakıfbahçe, Zeyninene ve Horhor Kadınlar Hamamı sıcak sularının baskın katyon ve anyonu Ca^{+2} ve HCO_3^{-}, hidrokimyasal fasiyesleri Ca-HCO_3'tır. Kaynarca ve Karamustafa sıcak sularının ise baskın katyon ve anyonu Na^{+} ve HCO_3^{-}, hidrokimyasal fasiyesleri Na-HCO_3'tır (Şekil 4.90). Schoeller diyagramlarına göre sıcak suların iyon sıralamaları Tablo 4.26'da verilmiştir.



Şekil 4.90 Bursa Ovası'ndaki jeotermal suların Schoeller Diyagramı

Tablo 4.26 Bursa Ovası'ndaki jeotermal suların Schoeller Diyagramına göre iyon sıralaması

Sıcak Su	Hidro-kimyasal Fasiyes	Katyonlar	Anyonlar
Vakıfbahçe	Ca-HCO3	$r(Ca^{+2})> r(Mg^{+2})> r(Na^{+})$	$r(HCO_3^{-})> r(SO_4^{-2})> r(Cl^{-})$
Zeyninene	Ca-HCO3	$r(Ca^{+2})> r(Mg^{+2})> r(Na^{+})$	$r(HCO_3^{-})> r(SO_4^{-2})> r(Cl^{-})$
Horhor Kadınlar Hamamı	Ca-HCO3	$r(Ca^{+2})> r(Mg^{+2})> r(Na^{+})$	$r(HCO_3^{-})> r(SO_4^{-2})> r(Cl^{-})$
Kaynarca	Na-HCO3	$r(Na^{+})> r(Ca^{+2}) > r(Mg^{+2})$	$r(HCO_3^{-})> r(SO_4^{-2})> r(Cl^{-})$
Karamustafa	Na-HCO3	$r(Na^{+})> r(Ca^{+2}) > r(Mg^{+2})$	$r(HCO_3^{-})> r(SO_4^{-2})> r(Cl^{-})$

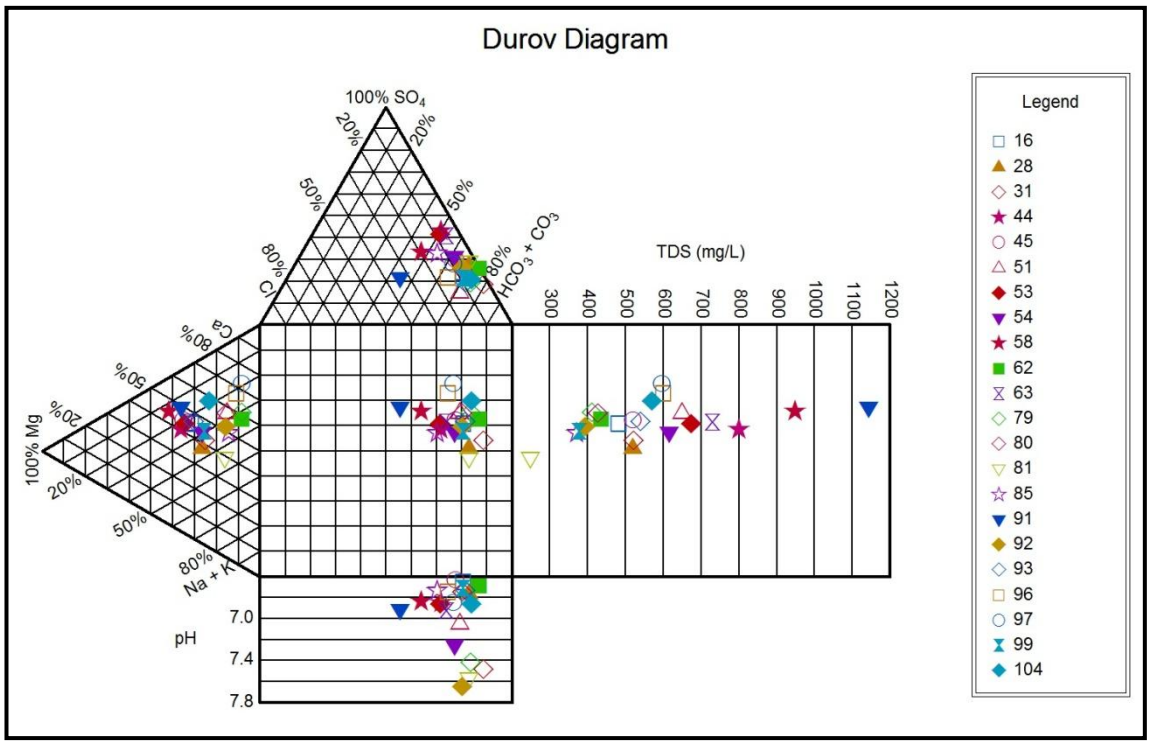
4.8.6.4. Durov Diyagramı

Durov (1948) diyagramı SO_4^{-2}, $HCO_3^{-}+CO_3^{-2}$, Cl^{-}, Mg^{+2}, Ca^{+2}, $Na^{+}+K^{+}$, pH ve TDS değerlerini tek diyagramda toplamaktadır. Piper diyagramından farkı pH ve TDS (mg/l) değerleri de gösterilebilmektedir.

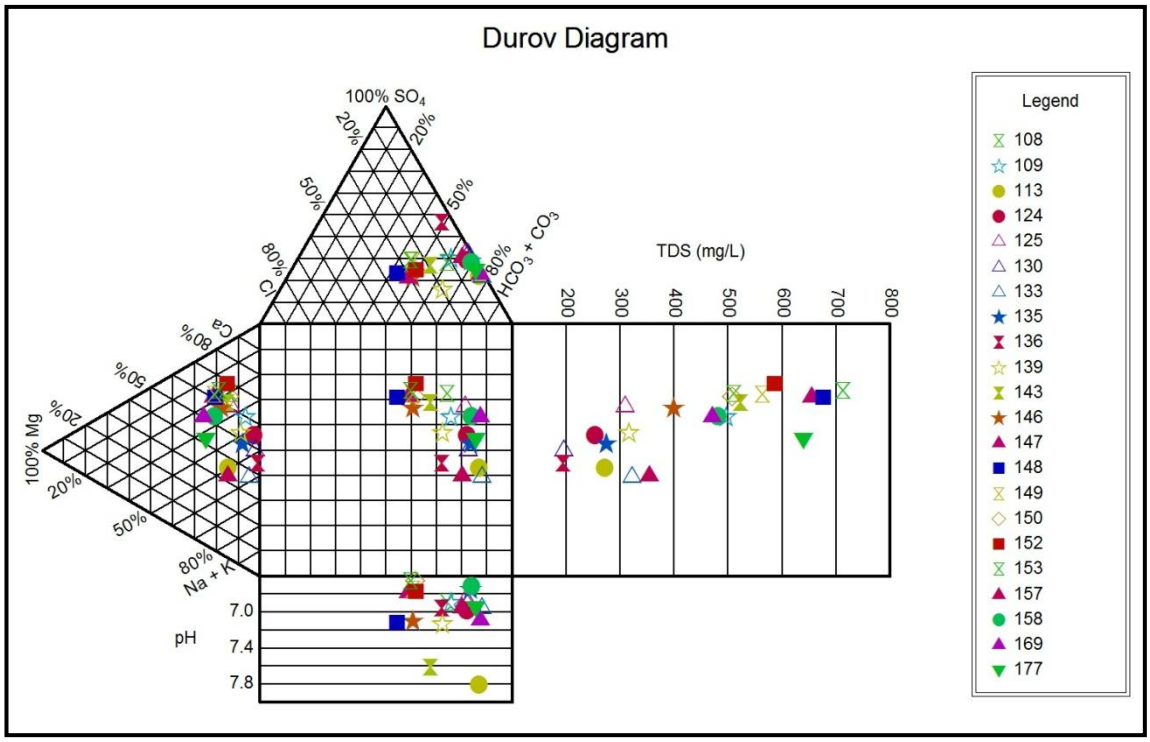
Bursa Ovası'na ait kuyu sularının Durov diyagramı Şekil 4.91 ve Şekil 4.92'de gösterilmektedir. Kuyu sularının çoğunlukla Ca^{+2} katyonu bakımından zengin olduğunu,

birkaç kuyu suyunun ise Na^+ katyonun yüksek olduğunu, bütün kuyu sularının HCO_3'lı sular olduğu, pH değerlerinin 7'nin altında yoğunlaştığı ve TDS'nin 91 no'lu kuyu suyu dışında 1000 mg/l'nin altında olduğu görülmektedir.

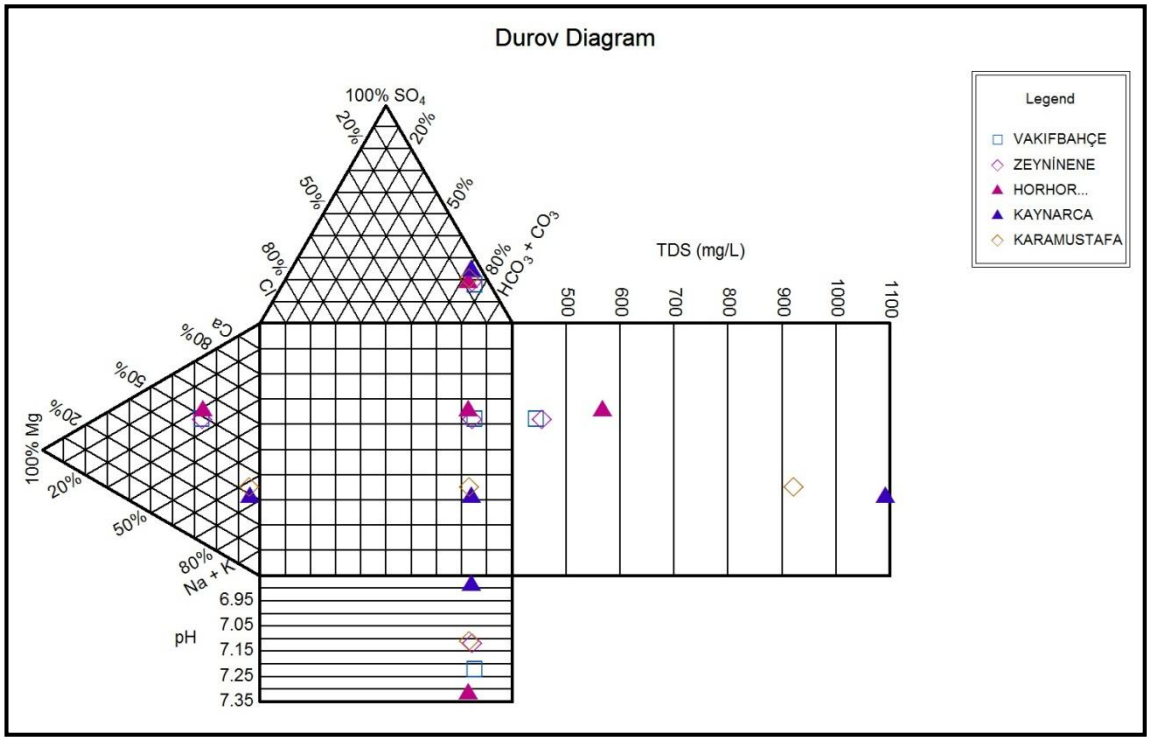
Şekil 4.93'te Çekirge grubu sıcak su kaynakları olan Vakıfbahçe, Zeyninene ve Horhor sularının katyon, anyon, pH ve TDS değerlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarından Kaynarca ve Karmustafa sularının katyon, anyon ve TDS değerleri birbirleriyle ilişkili olmasına rağmen pH değeri Çekirge grubu sıcak suları ile birlikte bulunmaktadır.



Şekil 4.91 Bursa Ovası'na ait kuyu sularının Durov Diyagramı



Şekil 4.92 Bursa Ovası'na ait kuyu sularının Durov Diyagramı



Şekil 4.93 Bursa Ovası'ndaki jeotermal suların Durov Diyagramı

5. SONUÇLAR

‘‘Bursa Ovası’nın Hidrojeoloji ve Jeotermal İncelemesi’’ adlı bu çalışmada, bölgenin jeoloji, hidroloji, hidrojeoloji ve jeotermal özellikleri arazi, laboratuvar ve büro çalışmalarıyla ayrıntılı olarak incelenmiştir. Elde edilen tüm veriler aşağıda açıklamıştır.

Bursa Ovası’nı besleyen havza sınırı ve havzayı bölen su bölüm hattı belirlenmiş ve havza sınırı 793,317 km^2, ova alanı 208 km^2 olarak bulunmuştur. İnceleme alanının jeolojisini araştırmak amacıyla önceki araştırmacıların çalışmaları da göz önünde bulundurularak arazi çalışmaları yapılmış ve alanın 1/100 000 ölçekli jeoloji haritası, jeoloji enine kesitleri ve stratigrafik sütun kesiti hazırlanmıştır.

Havzada bulunan meteoroloji istasyonlarının yağış, buharlaşma-terleme ve sıcaklık verileri değerlendirilmiştir. Bu istasyonların verileriyle yıllık ortalama yağıştan eklenik sapma grafiğine göre havzanın yağışlı ve kurak dönemleri belirlenmiştir. 1970-1975 yılları arası yağışlı dönem, 1975-1977 yılları arası kurak dönem, 1977-1981 yılları arası yağışlı dönem, 1981-1996 yılları arası kurak dönem, 1996-2005 yılları arası yağışlı dönem, 2005-2008 yılları arası kurak dönem, 2008-2010 yılları arası yağışlı dönemdir. Penman yöntemi ile havzanın su bilançosu hazırlanmış, potansiyel buharlaşma-terleme 1437,6 mm, gerçek buharlaşma-terleme ise 874,2 mm bulunmuştur.

Havzanın en önemli akarsuları Nilüfer çayı, Deliçay deresi ve Aksu dereleridir. Nilüfer çayı havza dışından doğmakta ve havza alanını menderesler yaparak terk etmektedir. Nilüfer çayının bu özelliği Bursa Havzası’nı kapalı bir havza olmaktan kurtarmaktadır. Ova alanında dereler drenaj, sulama ve kurutma kanallarına veya başka bir dereye katılmaktadır.

İnceleme alanında birçok soğuk su kaynağı bulunmaktadır ve en önemlileri Karapınar, Pınarbaşı ve İnkaya kaynaklarıdır. Bu kaynaklar kireçtaşı, mermer ve travertenden boşalmaktadır.

Bursa Ovası’nda akarsu yelpazesi ve alüvyonda açılmış 187 adet sondaj kuyusu bulunmaktadır. Kuyuların derinlikleri 20-300 m, statik su seviyelerinin yüzeyden

derinlikleri 4,04-16,62 m, kuyu verimleri pompajla 1,3-61,99 lt/s, artezyen verimleri 0,2-9,63 lt/s, özgül debi 0,025-11 lt/s/m arasında değişmektedir.

Bursa Ovası'nda Kasım-2010 ve Mayıs-2011 dönemlerinde 61 adet sondaj kuyusunda yeraltısuyu statik seviyesi ölçülmüştür. İki döneme ait yeraltısuyu seviye haritaları hazırlanmıştır. Yeraltısuyunun beslenimi doğudan ve güneyden batıya doğrudur.

İnceleme alanı ve çevresinde yer alan jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre sınıflandırılmış ve formasyonlar; birincil gözenekli yüksek geçirimli (Gç1), birincil gözenekli düşük geçirimli (Gç2), ikincil gözenekli yüksek geçirimli (Gçy1), ikincil gözenekli düşük geçirimli (Gçy2), az geçirimli (Gçz1) ve geçirimsiz (Gçz2) olmak üzere altı sınıfa ayrılmıştır. Çalışma alanında yüzeylenen bu birimlerin 1/100 000 ölçekli hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır. Uludağ metamorfitleri, Metaultramafitler, Nilüfer formasyonu, Abadiye formasyonu ve Çanakpınar bazaltı birincil ve/veya ikincil gözenekliliğe sahip olmayan geçirimsiz özellikteki birimlerdir (Gçz2). Avdancık formasyonu, Iğdır formasyonu, Bayırköy formasyonu, Yarhisar formasyonu, Koyunhisar formasyonu, Paşayayla formasyonu, Eğerce formasyonu, Sarıkaya formasyonu, Granitoyidler, Mudanya formasyonu ve Karacaoba formasyonu az geçirimli özellikteki birimlerdir (Gçz1). Uludağ mermeri, Yörüktepe formasyonu, Güneytepe formasyonu, Kayacıkçayırı formasyonu ve Travertenler görece düşük geçirimliliğe sahip ikincil gözenekli birimlerdir (Gçy2). Çataltepe mermeri ve Bilecik kireçtaşı görece yüksek geçirimli birimlerdir (Gçy1). Göktepe formasyonu, Köprühisar formasyonu ve alüvyon birincil gözenekliliğe sahip düşük geçirimli birimlerdir (Gç2). Yamaç molozu ve akarsu yelpazesi çökelleri birincil gözenekliliğe sahip geçirimli birimlerden daha yüksek geçirimli birimlerdir (Gç1).

Yeraltısuyu işletmesine uygun alanlar, alüvyon kalınlığının 150-200 m arasında olduğu ovanın batısı ve kuzeybatısı ile 100 m kalınlığında olan yamaç molozu ve 20 m kalınlığında olan akarsu yelpazesinin oluşturduğu bölgedir.

Bursa Ovası'nda seçilen 44 adet sondaj kuyusundan yapılan örneklemeyle suların kimyasal analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda ovada bulunan kuyu sularının pH'ı 6,63-7,81 ve elektriksel iletkenlik (EC) değeri 304-1790 µmho/cm arasındadır. Ovada

bulunan 91 no'lu sondaj kuyusu hariç bütün kuyu suları tatlı su sınıfına girmektedir. 91 no'lu sondaj kuyu suyu ise acımsı su sınıfındadır. Kuyu sularının sertliği çok yumuşaktan, çok sert sulara kadar değişmektedir. Kuyu sularının sodyum analiz sonucu 45,8-122 mg/l arasındadır; TS-266 içme suyu standartlarına göre içme suyu açısından uygundur. Kuyu sularının potasyum analiz sonucu 1,28-3,38 mg/l arasındadır; TS-266 içme suyu standartlarına göre 12 mg/l değerinin altında olup içme suyu açısından uygundur. Kuyu sularının kalsiyum analiz sonucu 43-254 mg/l değerleri arasındadır; 91 ve 152 no'lu kuyular TS-266 içme suyu standartlarına göre 200 mg/l değerinin üzerinde oldukları için içme suyu açısından uygun değildir. Kuyu sularının magnezyum analiz sonucu 0,625-114 mg/l değerleri arasındadır; 44, 53, 58, 63 ve 91 no'lu kuyuların Mg^{+2} değerleri TS-266 içme suyu standartlarına göre 50 mg/l'nin üzerinde olup, içme suyu açısından uygun değildirler. Kuyu sularının bikarbonat analiz sonucu 103,65-609,75 mg/l değerleri arasındadır. Kuyu sularının sülfat analiz sonucu 57,3-262 mg/l değerleri arasındadır; 58 no'lu kuyu dışında TS-266 içme suyu standartlarına uymayan kuyu suyu bulunmamaktadır. Kuyu sularının klorür analiz sonucu 0,613-212 mg/l değerleri arasındadır; TS-266 içme suyu standartlarına uymayan kuyu suyu bulunmamaktadır.

Kuyu sularının nitrit analiz sonucu 0,019-0,905 mg/l değerleri arasındadır; 91, 92, 135, 169 no'lu kuyu suları TS-266 içme suyu standartlarına göre 0,05 mg/l'nin üzerinde olduğu için içme suyu açısından uygun değildir. Kuyu sularının nitrat analiz sonucu 0,8-83,7 mg/l değerleri arasındadır; 44, 58, 97, 108, 109, 150 ve 177 no'lu kuyular TS-266 içme suyu standartlarına göre 50 mg/l'nin üzerindedir. Kuyu sularının amonyum analiz sonucu 0,097-0,195 mg/l arasında olan NH_4^+değerleri TS-266 içme suyu standartlarına göre 0,5 mg/l'nin altında oldukları içme suyu açısından uygundur. Ovadaki kirliliğin sebebi; evsel atıklar ve tarımsal faaliyetler için kullanılan gübrelerdir.

SAR sınıflamasına göre, kuyu sularının tamamı çok iyi özellikte sulama suyu sınıfına girmektedir. %Na sınıflamasına göre 44, 45, 58, 91, 97, 104, 147, 148, 149, 152 ve 153 no'lu kuyular 1. Sınıf Su (çok iyi), 16, 28, 31, 51, 53, 54, 62, 63, 79, 80, 85, 92, 93, 96, 99, 108, 109, 125, 139, 143, 146, 150, 158 ve 169 no'lu kuyular 2. Sınıf Su (iyi), 81, 113, 124, 130, 133, 135, 136 ve 157 no'lu kuyular ise 3. Sınıf Su (kullanılabilir) sınıfındadır. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramına göre 62, 79, 80, 81, 85, 92, 99, 113, 124, 125, 130, 133, 135, 136, 139, 146, 157 ve 169 no'lu kuyu suları orta tuzlu,

tuzluluk tehlikesi içermeden ve sodyum tehlikesi oluşturmadan tüm bitkiler için kullanılabilen C_2S_1 sulama suyu sınıfına; 16, 28, 31, 44, 45, 51, 53, 54, 58, 63, 91, 93, 96, 97, 104, 108, 109, 143, 147, 148, 149, 150, 152, 153, 158 ve 177 no'lu kuyu suları ise tuza dayanıklı bitkilerde ve sodyum tehlikesi oluşturmayan C_3S_1 sulama suyu sınıfına girmektedir. Wilcox diyagramına göre 16, 62, 79, 80, 81, 85, 92, 99, 108, 109, 113, 124, 125, 130, 133, 135, 136, 139, 146, 150, 157, 158 ve 169 no'lu kuyu sularının sulama suyu sınıfı çok iyi, diğer kuyu sularının ise iyi kullanılabilir sınıfındadır. Ovada bulunan kuyuların ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox diyagramı sınıflamalarında genellikle aynı özellikte oldukları görülmektedir.

Bursa Havzası'nda, Uludağ granodiyoritinin ısıtıcı kaynağını, karstik yapı sunan Uludağ mermerinin hazne kayayı, Uludağ bölgesi ve alanda bulunan fayların beslenim alanını, Karacaoba formasyonu ile Kuvaterner yaşlı kilce zengin çökellerin örtü kayacını oluşturduğu jeotermal sistemin ürünü olan pek çok sıcak su kaynağı bulunmaktadır.

Sıcak sular Bogomolow'a göre çok sıcak su sınıfındadırlar. Sıcak suların kimyasal analiz sonuçlarına göre; Çekirge grubu sıcak suların pH değeri 7,12-7,32, EC değeri 552 ve 565 µmho/cm; Kükürtlü grubu sıcak suların pH değeri 6,89-7,11, EC değeri 1140 ve 1361 µmho/cm arasındadır. Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarının Ca^{+2}, Na^{+}, K^{+}, HCO_3^{-} ve SO_4^{-2} iyonlarının miktarı Çekirge grubu sıcak sularından daha yüksek değerlerde bulunmaktadır. Cl^{-} iyon miktarı, Kükürtlü ve Çekirge grubu sıcak su kaynaklarında birbirine yakın değerler vermektedir. Çekirge grubu sıcak su kaynaklarının Mg^{+2} iyon miktarı daha yüksek değerlerdedir. Sıcak suların F^{-} içeriği 1 mg/l'nin altındadır.

Suların iyon konsantrasyonlarına göre aşağıdaki yorumlara varılmıştır.

- Düşük Na/K oranı ile sıcak suların yüzeye hızlı çıkma eğiliminde oldukları görülmektedir.
- Çekirge grubu sıcak sularındaki yüksek Mg^{+2} iyon miktarı soğuk yeraltısuyu karışımını göstermektedir.
- HCO_3^{-} değerlerinin her iki grup suda yüksek olması doğrudan derinden beslenmediklerini işaret etmektedir.

- Özellikle Kaynarca kaynağında sıcaklığın yüksek olması ve yüksek SO_4^{-2} miktarı hidrojen sülfidin (H_2S) oksidasyonu sonucu oluşmaktadır.
- Sulardaki düşük Cl^- konsantrasyonu bu sulara soğuk yeraltısularının karıştığını bir kez daha desteklemektedir.

Sıcak sular anhidrit, jips ve halit minerallerini biriktirme potansiyeline sahip değildir. Buna karşın, genel olarak kalsit ve dolomite doygun olmaları beslenmelerinin ve hazne kayasının kireçtaşı olduğunu göstermektedir.

Sıcak sular, Na-K-Mg üçgen diyagramında sıcak ve soğuk suların karışımdan oluşan ham sular bölümünde yer almakta olup dengeye ulaşamadan yüzeye erişmektedirler. Katyon jeotermometre sonucu karışımdan sonraki rezervuar sıcaklığını vermesi nedeniyle güvenilir değildir.

Jeotermal potansiyeli belirlemek için yapılan toprakta CO_2 gazı ölçümü sonucunda, özellikle Soğanlı'nın batısı ve güneyindeki alanlar, Odunluk'un güneydoğusunda, Dobruca'nın kuzeydoğusunda CO_2 gazının daha yüksek değerlerde bulunmaktadır. Değerlerin bu alanlarda yüksek olmasının sebebi, gömülü fay ve/veya kırıkların bulunması ya da bölgede bulunan faylara yakın olması olarak düşünülmelidir. CO_2 gazı yüksek değerlere ulaşılan bölgelerin yeni jeotermal alanlar olabileceği düşünülmeli ve ileride yapılacak çalışmalar bu alanlarda yoğunlaştırılmalıdır. Böylece, önemli kaynaklara ulaşılabileceği kanaatinde bulunmaktayım.

Sıcak suların $Cl\text{-}SO_4\text{-}HCO_3$ üçgen diyagramına göre baskın iyonu HCO_3'tır ve yüzeysel sular sınıfındadırlar. Bu veri, sıcak suların soğuk sularla karışım halinde olduğunu bir kez daha göstermiştir.

Soğuk sular Piper diyagramına göre; 58, 91, 133, 147, 148, 149, 150, 153, 157 no'lu kuyu suları 9. bölgede, karışık sular sınıfındadır. 136 no'lu kuyu suyu ise 7. bölgede, NaCl, Na_2SO_4 ve KCl'li sular sınıfındadır. Çalışma alanında analizi yapılan diğer kuyu suları ise 5. bölgede, $CaCO_3$ ve $MgCO_3$'lı sular sınıfındadır.

Sıcak sular Piper diyagramına göre; Vakıfbahçe, Zeyninene ve Horhor Kadınlar Hamamı suları ($Ca^{+2} + Mg^{+2}$) > ($Na^{+} + K^{+}$) olup karbonatlı ve sülfatlı sulardır. Ayrıca, ($HCO_3^{-} + CO_3^{-2}$) > ($Cl^{-} + SO_4^{-2}$)'tür. Kaynarca ve Karamustafa sıcak suları ($Na^{+} + K^{+}$) > ($Ca^{+2} + Mg^{+2}$) olup bu kısma giren sular tuzlu ve sodalı ve ($HCO_3^{-} + CO_3^{-2}$) > ($Cl^{-} + SO_4^{-2}$)'tür.

Schoeller diyagramları sıcak ve soğuk suların aynı kökenli, aynı akifer ve beslenme alanına sahip suların iyon dağılımları benzerlik göstermektedir. Soğuk sular Schoeller diyagramına göre; 81, 113, 130, 133, 136 ve 157 no'lu kuyu sularının baskın katyonu $Na^{+}+K^{+}$ iyonu, baskın anyonu HCO_3^{-}'tır. Bu suların hidrokimyasal fasiyesi Na-HCO_3^{-} 'tır. Diğer suların baskın katyonu Ca^{+2} iyonu, baskın anyonu ise HCO_3^{-} iyonu; hidrokimyasal fasiyesleri Ca-HCO_3'tır. Sıcak sular Schoeller diyagramına göre; Çekirge grubu sıcak su kaynakları olan Vakıfbahçe, Zeyninene ve Horhor Kadınlar Hamamı sıcak sularının baskın katyon ve anyonları Ca^{+2} ve HCO_3^{-}, hidrokimyasal fasiyesleri Ca-HCO_3'tır. Kükürtlü grubu sıcak su kaynakları olan Kaynarca ve Karamustafa sıcak sularının ise baskın katyon ve anyonları Na^{+} ve HCO_3^{-}, hidrokimyasal fasiyesleri Na-HCO_3'tır.

6. KAYNAKLAR

AKYÜZ, H.S., 1995, *Manyas-Kepsut-Susurluk (Balıkesir) Çevresinin Jeolojisi*, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

AKYÜZ, H.S. ve OKAY, A.I., 1996, A section across a Tethyan suture in norhwest Turkey: Int. *Geol. Rev*. v. 38, 405-418.

AKYÜZ, H.S. ve OKAY, A.I., 1998, The geology of the south of Manyas (Balıkesir) and tectonic significance of blueschists, *Bull. Min. Res. Exp.*, Vol. 120, s. 81-95.

ALTINER, D., KOÇYİĞİT, A., FARİNACCİ, A., NİCOSİA, U., CONTİ, A., 1989, *Kuzeybatı Anadolu'nun Kuzey Anadolu fay zonu güneyindeki Rosso Ammonitiko'lu Jura-Alt Kretase stratigrafisi, bölgenin paleo-coğrafik ve tektonik evrimi,* Yayınlanmamış, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Araştırma Raporu, CNR/TBAG-1, ss.270.

ALTINLI, İ.E, 1965, *Yenişehir Havzasının Jeolojik ve Hidrojeolojik İncelemesi,*İ.Ü. Fen Fakültesi Mecmuası, B.30, C.1-2, ss.3-51, İstanbul.

ALTINLI, İ.E., 1973a, *Orta Sakarya Jeolojisi*, Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi, Tebliğler, 17-19 Aralık, ss. 159 - 191, Ankara.

ALTINLI, İ.E., 1973b, *Bilecik Jürasik'i,* Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi, , Tebliğler, 17-19 Aralık, ss. 103 – 111, Ankara.

ALTINLI, İ.E., 1975, *Paleosen Yaşlı Kızılçay Grubunun Çökelme Ortamları,* İ.Ü. Fen. Fak. Mecmuası, B, 40, 1-2, ss. 35-42, İstanbul.

AMBRASEYS, N.N. ve FİNKEL, C.F., 1991, Long-term seismicity of Istanbul and the Marmara Sea region, *Terra Nova*,3, 527-539.

ANONİM, 1984, World Health Organization (WHO), Guidelines for drinking water quality, Health criteria and other supporting information: *WHO Publ., Geneva*, Switzerland, Volume 2, 335 p.

APELLO, C.A.J. ve POSTMA, D., 1996, Geochemistry Groundwater and Pollution, 36-37.

ARNÓRSSON, S., GUNNLAUGSSON, E., SVAVARSSON, H., 1983, The chemistry of geothermal waters in Iceland III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochim. Cosmochim. Acta*, *46*, 1513–1532.

ARNORSSON, S., 1991, *Geochemistry And Geothermal Resources in Iceland: in D'amore,* F., Co-Ordinator. Application of Geochemistry in Geothermal Resorvoir Development, UNITAR, USA, 145-196.

ATALAY, E. ve ALTUĞ, A., 1973, *Bursa ve Çayırköy Ovaları Hidrojeolojik Etüd Raporu,* No:79438, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

BALDERER, W., 1997, Mechanisms and Process of Groundwater Circulation in Tectonically Active Areas. Activite Tectonics of Northwestern Anatolia – Marmara Poly-Project, ETCH-Zurich.

BARGU, S., 1982, *The Geology of İznik – Yenişehir (Bursa)– Osmaneli (Bilecik) area,* İ.Ü. Yerbilimleri, 3, 1-2 .191-234.

BARGU, S., OSMANŞAHİN, İ. ve ÖZTOPRAK, S., 2000, *Gürsu (Bursa) Alanının Jeoloji, Jeofizik ve Jeoteknik Araştırılması*, İstanbul Üniversitesi Araştırma Vakfı.

BİNGÖL, E., AKYÜREK, B. ve KORKMAZER, B., 1973, *Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve Karakaya Formasyonu'nun bazı özellikleri,* Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Bildiriler Kitabı, MTA Yayınları, s. 70-77, Ankara.

BİNGÖL, E., 1968, Contribution â l'etude geologique de la partie Centrale et Sud-Est du massif de Kazdağ (Turquie). *These du Doctorat, Fac. Sci. Univ. Nancy,* 191 p., Fransa.

BİNGÖL, E., 1975, 1/2.500.000 Ölçekli Türkiye Metamorfizma Haritası ve Bazı Metamorfik Kuşakların Jeotektonik Evrimi Üzerinde tartışmalar *M.T.A. Mec*.,83.

BİNGÖL, E., 1976, *Batı Anadolu'nun Jeotektonik Evrimi,* MTA Enstitüsü Dergisi, No 86.

BİNGÖL, E., DELALOYE, M., ATAMAN, G., 1982, Granitic Intrusions in Western Anatolia:A Contribution of The Geodynamic Study of This Area, *Eclogae Geol. Helv*., 75: 437-446.

BOGOMOLOW, G.V. ve SİLİN BEKTCHOURİNE, A.İ., (traduction javet, E. Castani, G.) 1955, *Hydrogeologine specialise,* BRGM, Paris.

BÜRKÜT, Y., 1966, *Kuzeybatı Anadolu'da Yer Alan Plutonların Mukayeseli Jenetik Etüdü,* İTÜ Maden Fakültesi, Doktora Tezi.

CAROLL, D., 1962, Rain water as a chemical agent of geologic processes- A review, *US Geological Survey*, Water supply paper, 1535-G, 18 p.

DAY, B. A. ve NİGHTİNAGLE, H.I., 1984, Relationships between groud- water silica, total dissolved solids, and specific electrical conductivity, *Ground Water,* 22, 1, 80- 85.

DELALOYE, M. ve BİNGÖL, E., 2000, Granitoyids From Western And Northern Anatolia: Geochemistry and Modelling of Geodynamic Evolution, *International Geology Review,* 42, 241-268.

DOĞAN, L., 1981, *Hidrojeolojide Su Kimyası,* D.S.İ. Basım ve Foto Film İşletme Müdürlüğü Matbaası, 180 s., Ankara.,

DREVER, J.I., 1996, *The Geochemistry of Natural Waters (3rd ed.),* Prentice Hall, New Jersey, ss. 436.

DSİ, 1973, *Bursa ve Çayırköy ovalarının hidrojeolojik etüt raporu*, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı.

DSİ, http://www2.dsi.gov.tr/bolge/dsi1/bursa.htm (Ziyaret tarihi: 10 Ekim 2011).

DUROV, S.A., 1948, *Natural Waters and Graphic Representation of Their Compositions,* Akademiya Nauk SSSR Doklady 59, 87–90.

ELLİS, A.J. ve MAHON, W.A.J., 1977, *Chemistry and Geothermal Systems,* Academic Press, London, ss. 403.

ELLİS, A.J., 1979, Chemical geothermometry in geothermal systems, *Geothermics,* 25, ss. 219-226.

EMRE, Ö., ERKAL, T., KAZANCI, N., GÖRMÜŞ, S., GÖRÜR, N,. KUŞÇU, İ., KEÇER, M., 1997, *Güney Marmara Bölgesi'nin Neojen ve Kuvaterner evrimi,* TÜBİTAK, Proje No: YDABÇAG-426/G, ss. 36-68, Ankara.

EMRE, Ö., DOĞAN, A., YILDIRIM, C. ve ŞAROĞLU, F., 2005, Active fault pattern and bend kinematics in NW Anatolia. International Symposium on the Geodynamics of Eaastern Mediterranean: *Active Tectonics of the Aegan Region,* 15-18 June 2005, Kadir Has University, Abstracts, p. 98, İstanbul, Turkey.

EMRE, Ö., DUMAN, T. Y., DOĞAN, A., ÖZALP, S., YILDIRIM, C., KÜRÇER, A., ÖZAKSOY, V., ELMACI, H. ve KOÇ, G., 2009, *Batı Türkiye'nin Diri Fay Geometrisi ve Güncel Kinematiği,* 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 13-17 Nisan 2009, Bildiriler, Ankara.

ERGUVANLI, K. ve YÜZER, E., 1973, *Yeraltı Suları Jeolojisi*, İTÜ Maden Fakültesi.

ERİŞEN, B. ve ÖNGÜR, T., 1976, *Bursa Kenti Sıcak Su Kaynakları Etüdü, MTA Raporu*.

ERK, A.S., 1942, *Etude Geologique De La Region Entre Gemlik (Vilayet De Bursa),* Pub. Inst. De Geol. Uni. Istanbul, Nouv. Serie, 3.

ERKAL, T. ve EMRE, Ö., 1997, *Nilüfer çayı (Bursa) drenajının kuruluşu ve evrimi: Tektonizma-Drenaj ilişkileri,* TÜBİTAK, Proje No: YDABÇAG-426/G, ss. 135-139, Ankara.

FOURNİER, R.O., 1977, *A review of chemical and isotopic geothermometers for geothermal systems,* Proceedings of the Symp. On Geoth. Energy. Cento Scientific programme, Ankara, ss.133-143.

FOURNİER, R. O. ve TRUESDELL, A.H., 1973, An Emprical Na-K-C Geotermometer for Natural waters, *Geochim. Et Cosmochim. Acta.,* V. 37 ss. 1255-1275.
FOURNİER, R. O., 1979, Geochemical and hydrological considerations and the use of enthalpy-chloride diagrams in the prediction of underground conditions in hotspring systems, *J. Volcanol. Geotherm. Res., 5,* 1-16.

FOURNİER, R.O. ve POTTER, R.W., 1979, Magnesium correction to the Na-K-Ca chemical geothermometer, *Geochimica et Cosmochimica Acta,* N.43 1543-1550p.

GENÇ, Ş., 1986, *Uludağ-Iznik Gölü arasının jeolojisi,* MTA Rap. No: 7853 (Yayımlanmamış).

GENÇ, Ş., 1992, *İznik-İnegöl (Bursa) arasındaki tektonik birliklerin jeolojik ve petrolojik incelenmesi,* İTÜ Fen Bilimleri Ens., Doktora Tezi, İstanbul.

GEMİCİ, Ü., 1999, *Çesme Yarımadası'nın Hidrojeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları,* D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, Aralık, İzmir.

GİGGENBACH, W. F., CONFİANTİNİ, R., JANGİ, B. L. ve TRUESDELL, A. H., 1983, Isotopic and chemical composition of Partabi Valley geothermal discharges, northwest Himalaya, India, *Geothermics, 12,* 199-222.

GİGGENBACH, W.F., 1988, Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57, 2749-2765.

GÖKNİL, M.H., 1975, *Bursa'daki Yeni Kaplıca, Kara Mustafa, Kükürtlü Termal Sularının Fizikokimyası Üzerine Bir Araştırma,* Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 135.

GÖRMÜŞ, S., ŞAHBAZ, A., VAROL, B., KAZANCI, N., BAYHAN, E., EMRE, Ö. ve ÖZDOĞAN, M., 1997, *Güney Marmara (Bursa-Karacabey) bölgesinin stratigrafisi ve yapısal özellikleri,* Güney Marmara bölgesinin Neojen ve Kuvaterner evrimi. TÜBiTAK YDABÇAG- 426/G Proje Raporu, 22-35.

GRANİT, Y. ve TİNTANT, H., 1960, *Observations preliminaires sur le Jurassique de la region de Bilecik (Turquie),* C.R. Accad. Sci., 251, 1801-1803.

GÜRPINAR, O., 1976, *Geological Investigation of the Bilecik-İnegöl-Yenişehir Territorites Together with a study of Engineering Properties of the Bilecik Limestone,* İ.Ü. Fen Fakültesi Mecmuası, B, 40, 83-113.

HEM, J. D., 1985, Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, *U.S. Geological Survey Water-Supply Paper* 2254, 26, ss.3.

HOUNSLOW, A. W., 1995, *Water Quality Data: Analysis and Interpretation,*. Lewis Publishers, 54.

IMBACH, T., 1992, *Thermalwasser von Bursa. Geologische und Hydrogeologische Untersuchungen Am Berg Uludag (NW-Türkei),* Diss, ETH Zürich, Nr 9998, ss.178.

IMBACH, T., 1997a, Deep Groundwater Circulation in The Tectonically Active Area of Bursa Northwest Anatolia, Turkey, *Geothermics*, 26; N.2; pp. 251–278.

IMBACH, T., 1997b, Geology of Mount Uludağ with emphasis on the genesis of Bursa thermal waters, Northwest Anatolia, Turkey, *Active Tectonics of Northwestern Anatolia-The Marmara Poly-Project,* B, 4, ss. 239-266

İNAN, K., 1979, *Uludağ Skarn Kuşağının Petrojenez ve Jeokimyası,* Doçentlik Tezi, İTÜ Maden Fakültesi,131.

IRWİN, W.P. ve BARNES, I., 1980, Tectonic relations of CO2 discharges and earthquakes. *J. Geophys. Res*. 85, 3115–3121.

ITALİANO F., BONFANTİ, P., DİTTA, M., PETRİNİ, R. ve SLEİJKO, F., 2009, Helium and carbon isotopes in the dissolved gases of Friuli region (NE Italy): Geochemical evidence of CO2, production and degassing over a seismically active area. *Chemical Geology*, 266 (1–2), 76–85,

KETİN, İ., 1947, Uludağ Masifinin Tektoniği Hakkında (Über Die Tektonik Des Uludag Massivs), *Bull. Geol. Soc. Turk.*1, 61-88.

KETİN, İ., 1984, *Türkiye'nin Bindirmeli Naplı Yapısında Yeni Gelişmeler ve Bir Örnek; Uludağ Masifi,* Ketin Sempozyumu, Türkiye Jeoloji Kurumu Yayını, 19-36.

LANGMUİR, D., 1997, *Aqueos Environmental Geochemistry*, Prentice-Hall Publication, USA.

MAHON, W.A., 1964, Silica of hot water discharged from drill holes at Wairakie, *N.Z.J. Sci.*, 9, 144-165p. New Zeland.

MC NEELY, R.N., NEİMANİS., V. P., DWYER, L., 1979, Water quality source book-A Guide to Water Quality Parameters.

MTA, 2003, *Türkiye Termal ve Mineralli Sular Envanteri,* Bursa, 46.

MTA, 2009, *Bursa ili kentsel alanların (il-ilçe merkezleri) yerbilim verileri,* MTA Rapor No: 11163, Ankara.

MTA, 2011, *1/ 250 000 ölçekli Türkiye diri fay haritası serisi, Bursa (NK 35-12) paftası,* Seri No:9, Ankara.

NİCHOLSON, K., 1993, *Geothermal Fluids Chemistry and Exploration Techniques*, Berlin: Springer-Verlag.

NİEVA, D. ve NİEVA, R., 1987, Development in geothermal energy in Mexico, part 12-A cationic composition geothermometer for prospection of geothermal resources. *Heat recovery systems and CHP, 7*, 243-258.

OKAY, A. İ., SİYAKO, M., BÜRKAN, K.A., 1990, *Biga Yarımadası'nın Jeolojisi ve Tektonik Evrimi,* Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 2/1, 83-121.

OKAY, A. İ., SİYAKO, M., BİRKAN, K., 1991, *Geology and evolution of the Biga Peninsula,* Northwest Turkey, Bulletin of the Technical University, İstanbul., 44, s. 155-219.

OKAY, A. İ., SATIR, M., MALUSKİ, H., SİYAKO, M., MONİE, P., METZGER, R. ve AKYÜZ, S., 1996, *Paleo- and Neotethyan events in northwest Yurkey: geological and geocronogical constraints. In Yın, A. and Harrison, M. (eds). Tectonics of Asia.* Cambridge Uni. Pres, 420-441.

OKAY, A.İ., HARRİS, N. B. W. ve KELLEY, S.P., 1998, Exumation of Blueschists Along a Tethyan Suture in Northwest Turkey, *Tectonophysics*, 285: 275-299.

OKAY, A İ.. ve TÜYSÜZ, O., 1999, *Tethyan Sutures of Northern Turkey.* In: Durand, B, Jolivet, L., Horvart, F. Serrane, M (Ed.) The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within Alpin Orogene. Geological Society, London, Special Publications 156, 475-515.

OKAY, A. İ., SATIR, M., ZATİN, M., CAVAZZA, W. ve TOPAZ, G., 2008, An Oligocene ductile strike-slip shear zone: Uludağ Massif, northwest Turkey, Implications fort he westward transliation of Anatolia, *Geological Society of America*, 26229, 2nd pages/ 1 of 19.

ÖNCEL, A. O. ve WILSON, T., 2006, Evaluation of earthquake potential along The Northern Anatolian Fault Zone in the Marmara Sea using comparisons of GPS strain and seismotectonic parameters, *Tectonophysics,* 418: 205-218.

ÖZTUNALI, Ö., 1973, *Uludağ (Kuzeybatı Anadolu) ve Eğrigöz Masiflerinin Petrolojileri ve Jeokronolojileri,* İ.Ü Fen Fak. Monografileri Tabii İlimler, S.23, 1-115.

ÖZTÜRK, A., 2004, *Tuzluluk ve Sodyumluluğun Oluşumu, Bitki ve Toprağa Etkileri,* Sulanan Alanlarda Tuzluluk Yönetimi Sempozyumu, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü.

PİPER, A. M., 1944, A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses,Transactions, *American Geophysical Union* 25:914-923.

PHİLİPPSON, A., 1913, *Reisen und Forschungen Im Westl.Kleinaisen,* III. Heft-Das Östliche Mysien Und Die Benachbarten Teile von Phrygien und Bithynien. Petermanns Mitteilungen, Erganzungsheft,177.

RAHE, B., FERRİLL, D.A. ve MORRİS, A.P., 1998, Physical Analog Modelling of Pull-Apart Basin Evolution, *Tectonopyhsics,* V. 285, ss. 21-40.

RONNER, F., 1954, *Uludağ Volfram Yatakları ile Yakın Civarının Jeolojisi ve Tektoniği,* MTA Rap. No: 2203.

SAĞIROĞLU, G., 1953, *Uludağ volfram zuhuru hakkında, Rapor no. 2084, M.T.A.* Enst. Arşivi.

SAĞIROĞLU, G. ve BÜRKÜT, Y., 1973, Sur age et petrographic du masif d'Uludağ (Turquie), C.R SPHN Geneve, 1, 1, 21-32.

SANER, S., 1978, *Geology and Enviroment of Deposition of Geyve-Osmaneli-Gölpazarı-Taraklı area,* İ.Ü. Fen. Fak. Mecmuası, B, 43, 63-91.

SANER, S., 1980, *Mudurnu-Göynük Havzasının Jura ve Sonrası Çökelim Nitelikleriyle Paleocoğrafik, Yorumlaması,* İ.Ü. Fen. Fak. Mecmuası, B, 23, 39-52.

SCHOELLER, H., 1955, *Geochimic des eaux souterraines* es.Ins. France. Petrole. Paris.

SCOFİELD, 1935, *The Salinity of ırrigation water*. Smitsonian Institute Annual Report. USA.

SELİM, H.S., TÜYSÜZ, O. ve BARKA, A.A., 2006, *Güney Marmara bölümünün neotektoniği,* itüdergisi mühendislik/d, C.5, S.1, K.2, ss. 151-160, İTÜ Avrasya YerBilimleri Enstitüsü, 34469, Ayazağa, İstanbul.

SOYASLAN, İ. İ., 2004, *Eğirdir Gölü Doğusunun Hidrojeoloji İncelemesi ve Yeraltısuyu Modellemesi,* SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.

SOYSAL, H., SİPAHİOĞLU, S., KOÇAK, D. ve ALTINOK, Y., 1981, *Türkiye ve çevresinin tarihsel deprem kataloğu,* TÜBİTAK, Proje no:TBAG, 341 s.

STUMN, W. ve MORGAN, J. J., 1981, *Aquatic chemistry: Introduction emphasizing equilibria in natural waters,* New York.

ŞENGÖR, A.M.C., 1979, The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonics significance, *J. Geol. Soc.* Lond. 136, ss.269-282.

ŞENYUVA, T.K., 1991, *Bursa Ovası'nın Hidrojeoloji İncelemesi,* İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

ŞAHİNCİ, A., 1991, *Doğal Suların Jeokimyası,* Reform Matbaası. 548 s. İzmir.

ŞENGÖR, A. M. C. ve CİN, A., 1988, *Uludağ napının alt dokanağı boyunca mezoskopik yapısal gözlemler ve napın yerleşim yönü,* TÜBİTAK, Proje No: TBG/824, ss. 53.

TEKELİ, O., 1981, Subduction complex pre-Jurassic Age, Northern Anatolia, Turkey, *Geology,* 9, 68-72.

TONANİ, F., 1980, *Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration*. Proceedings, Adv. Eur. Geoth. Res. Second Symp., Strasbourg, 428-443.

TRUSDELL, A.H., 1975, *Summary of Section III. Geochemical Techniques in Exploration,* Proceedings 2nd UN Symposium on The Development and Use of Geothermal Resources, San Francisco, 1975, 1, 1iii-ixii.

TS 266, 2005, *Sular-İnsanî tüketim amaçlı sular*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TSE, 1985, *İçme suları,* Birinci Baskı, T.S.266, ss. 42.

TUT HAKLIDIR, F.S., 2007, *Bursa ili ve çevresindeki termal ve maden ve yeraltısularının jeokimyasal incelenmesi,* DEÜ. Fen Bilimleri Ens., Doktora Tezi, İzmir.

TOLUN, N., 1948, *Bursa Ovası'nın hidrolojisi hakkında not,* MTA Rapor No: 1799, Ankara.

USGS, http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/ (Ziyaret tarihi: 2 Ocak 2012).

U. S. SALİNİTY LAB. STAFF, 1954, *Salt Problems In Irrigation Soils, USDA Agr.Inf. Bull,* 190.

VAN DER KAADEN, G., 1958, *Bursa-Uludağ Volfram Madeninin Jenez ve Mineralizasyonu Hakkında,* MTA Rapor No: 50, Ankara.

VAN DER KAADEN, G., 1959, Anadolu'nun kuzeybatı kısmında yer alan metamorfik olaylarla magmatik faaliyetler arasındaki yaş münasebetleri, *M.T.A dergisi*, 52, 2.

WİJKERLOOTH, J. D., 1941, Garbi ve merkezi Anadolu sahası dahilinde genç Paleozoyikteki magmatik faaliyet hakkında mülahazalar, *M.T.A dergisi*, 4, 25.

WİLCOX, L.V., 1955, Classification and Use of Irrigation Waters, *US Dept Agriculture Circ.*, Vol.969, ss.19, Washington DC.

WHİTE, D.E., 1970, Geochemistry applied to the discovery, evaluation and exploitation of geothermal energy resources, *Geothermics,* Special Issue 2, (1), ss. 58-80.

WORLD HEALTH ORGANİZATİON, 2006, *Guidelines for drinking-water quality*, third edition., Geneva. p. 221-459.

YILMAZ, Y., 1981, *Sakarya Kıtasının Güney Kenarının Tektonik Evrimi,* İ.Ü. Yerbilimleri, 1, ss. 33-52.

YURDAGÜL, A., 2004, *Uludağ Granitoyidinin Litojeokimyasal İncelenmesi,* İst. Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

7. ÖZGEÇMİŞ

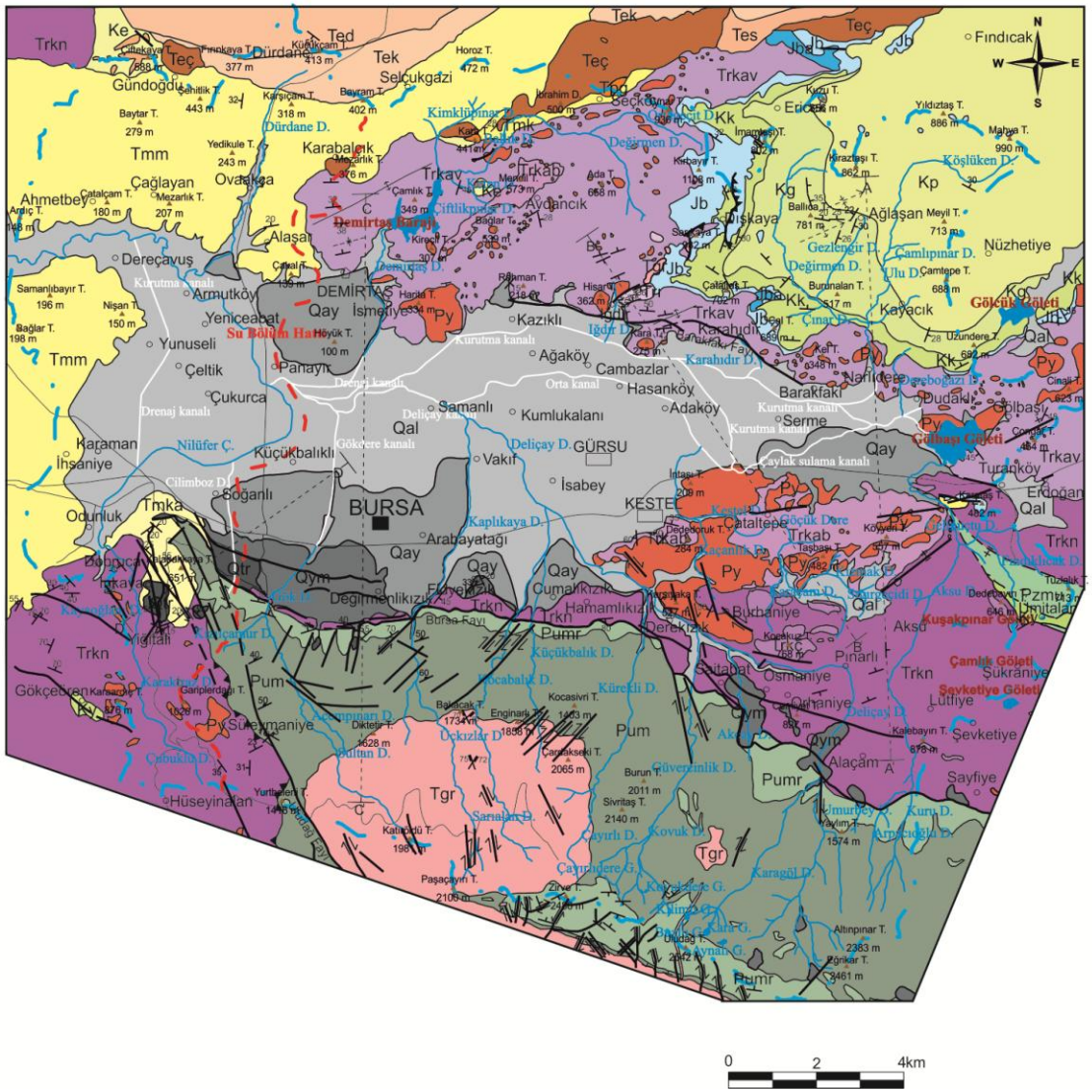
Merve ÖGER 1986 yılında İstanbul'da doğdu. İlköğrenimini Harbiye İlköğretim Okulu ve lise öğrenimini Kurtuluş Lisesi'nde tamamladı. 2005 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı ve 2009 yılında mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı.

BURSA OVASI VE ÇEVRESİNİN JEOLOJİ HARİTASI

GEOLOGICAL MAP OF BURSA PLAIN AND ITS VICINITY

(MTA, 2009'dan Sadeleştirilerek Deneştirilmiştir)

EK-1



AÇIKLAMALAR/EXPLANATIONS

SENOZOYİK	KUVATERNER			Qal	Alüvyon
				Qay	Akarsu Yelpaze Çök.
				Qym	Yamaç Molozu
					Uyumsuzluk-Unconformity
				Qtr	Traverten
					Uyumsuzluk-Unconformity
	TERSİYER	PLİYO.		Tmka	Karacaoba Fm.
		MİYOSEN	ÜST	Tmm	Mudanya Fm.
			ORTA	Tmk	Köprühisar Fm.
					Uyumsuzluk-Unconformity
		0. OLİGOSEN		Tgr	Granitoyidler
					Uyumsuzluk-Unconformity
		EOSEN	LÜTESİYEN	Tek	Kayacıkçayırı Fm.
				Ted	Dürdane Fm.
				Tes	Sarıkaya Fm.
					Uyumsuzluk-Unconformity
				Teç	Çanakpınar Fm.
					Uyumsuzluk-Unconformity
		PALEOSEN	ALT	Tpg	Güneytepe Fm.
				Ke	Eğerce Fm.
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST	MAASTRİHT	Kp	Paşayayla Fm.
				Kg	Göktepe Fm.
				Kk	Koyunhisar Fm.
				Ky	Yarhisar Fm.
					Uyumsuzluk-Unconformity
		ALT		Jb	Bilecik Kireçtaşı
	JURA	ORTA-ÜST		Jba	Bayırköy Fm.
		LİYAS			Uyumsuzluk-Unconformity
	TRİYAS	ÜST		TRı	Iğdır Fm.
		ALT-ORTA		TRkab	Abadiye Fm.
				TRkav	Avdancık Fm.
				TRkç	Çataltepe Mermeri
				TRkn	Nilüfer Fm.
					Tektonik dokanak-Tectonic contact
PALEOZOYİK	PERMİYEN	ÜST		Py	Yörüktepe Fm.
					Tektonik dokanak-Tectonic contact
				Pzmu	Metaultramafitler
					Tektonik dokanak-Tectonic contact
				Pumr	Uludağ Mermeri
				Pum	Uludağ Metamorfitleri

İŞARETLER/SYMBOLS

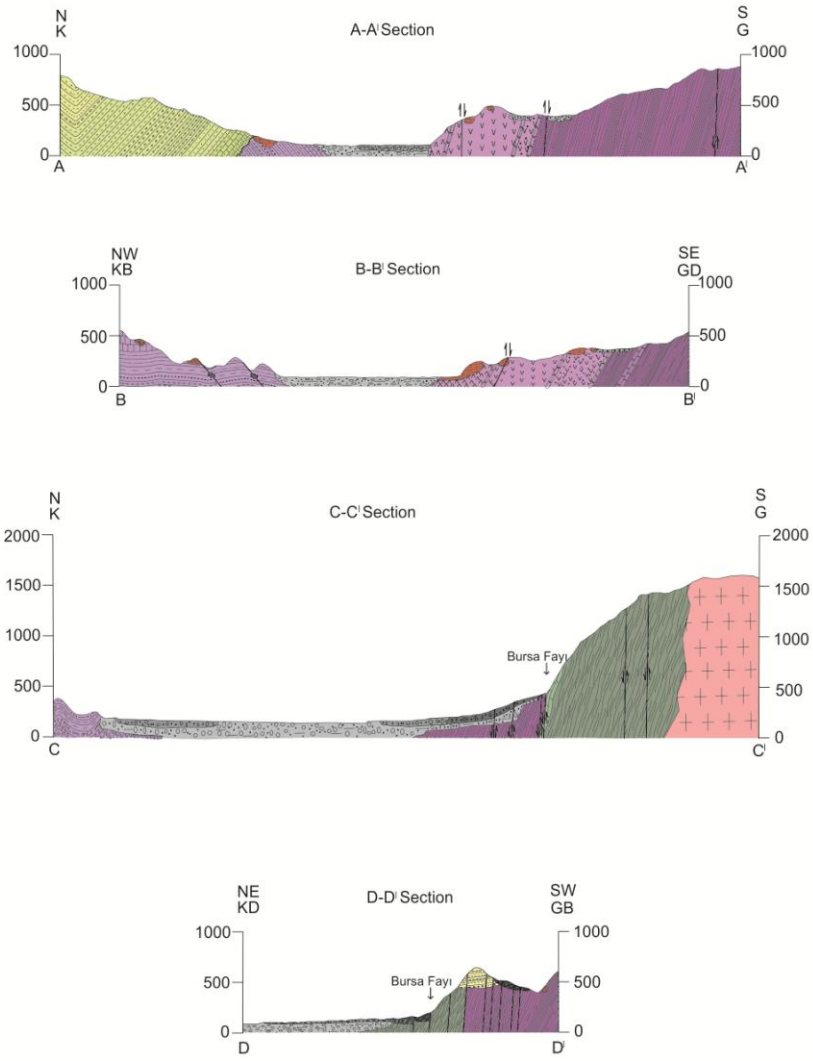
- Düşey fay, yeri yaklaşık düşey fay — Vertical fault, approximately located vertical fault
- Doğrultu atımlı fay, yeri yaklaşık doğrultu atımlı fay — Strike-slip fault, approximately located strike-slip fault
- Tanımlanmamış fay, yeri yaklaşık tanımlanmamış fay — Undefined fault, approximately located undefined fault
- 55 Eğim atımlı fay — Dip-slip fault
- Bindirme — Thrust
- Senklinal ekseni ve dalımı, yeri yaklaşık senklinal ekseni ve dalımı — Axis and plunge of syncline, approximately located axis of plunge of syncline
- Antiklinal ekseni ve dalımı, yeri yaklaşık antiklinal ekseni ve dalımı — Axis plunge of anticline, approximately located axis of plunge of anticline
- Tabaka doğrultu ve eğimi — Strike and dip of layer
- Çatlak doğrultu ve eğimi — Strike and dip of joint
- Şistozite doğrultu ve eğimi — Strike and dip of schistosity
- A A' Enine kesit yeri — Located on the cross-section
- Karayolu — Grade road
- Tepe — Hill
- İl — City
- İlçe — Borough
- Köy — Village
- Göl,gölet ve baraj — Lake, pond and dam
- Drenaj alanı — Dranaige area
- Dere — Stream
- Kanal — Canal

BURSA OVASI VE ÇEVRESİNİN JEOLOJİ ENİNE KESİTLERİ

CROSS-SECTIONS OF BURSA PLAIN AND ITS VICINITY

(MERVE ÖGER, 2012)

EK-2



AÇIKLAMALAR/EXPLANATIONS

SENOZOYİK
- KUVATERNER
  - Alüvyon
  - Akarsu Yelpaze Çök.
  - Yamaç Molozu
  - Uyumsuzluk-Unconformity
  - Traverten
  - Uyumsuzluk-Unconformity
- TERSİYER
  - PLİYO.
    - Tmka Karacaoba Fm.
  - MİYOSEN
    - ÜST: Tmm Mudanya Fm.
    - ORTA: Tmk Köprühisar Fm.
  - Uyumsuzluk-Unconformity
  - OLİGOSEN: Granitoyidler
  - Uyumsuzluk-Unconformity
  - EOSEN
    - LÜTESİYEN: Tek Kayacıkçayırı Fm.; Ted Dürdane Fm.; Tes Sarıkaya Fm.
    - Uyumsuzluk-Unconformity
    - LÜTESİYEN: Teç Çanakpınar Fm.
    - Uyumsuzluk-Unconformity
    - PALEOSEN ALT: Tpg Güneytepe Fm.

MESOZOYİK
- KRETASE
  - ÜST: Ke Eğerce Fm.; Paşayayla Fm.; Göktepe Fm.; Koyunhisar Fm.; Ky Yarhisar Fm.
  - Uyumsuzluk-Unconformity
- JURA
  - ALT ORTA-ÜST: Jb Bilecik Kireçtaşı
  - LİYAS: Jba Bayırköy Fm.
  - Uyumsuzluk-Unconformity
- TRİYAS
  - ÜST: Iğdır Fm.
  - ALT-ORTA: Abadiye Fm.; Avdancık Fm.; Çataltepe Mermeri

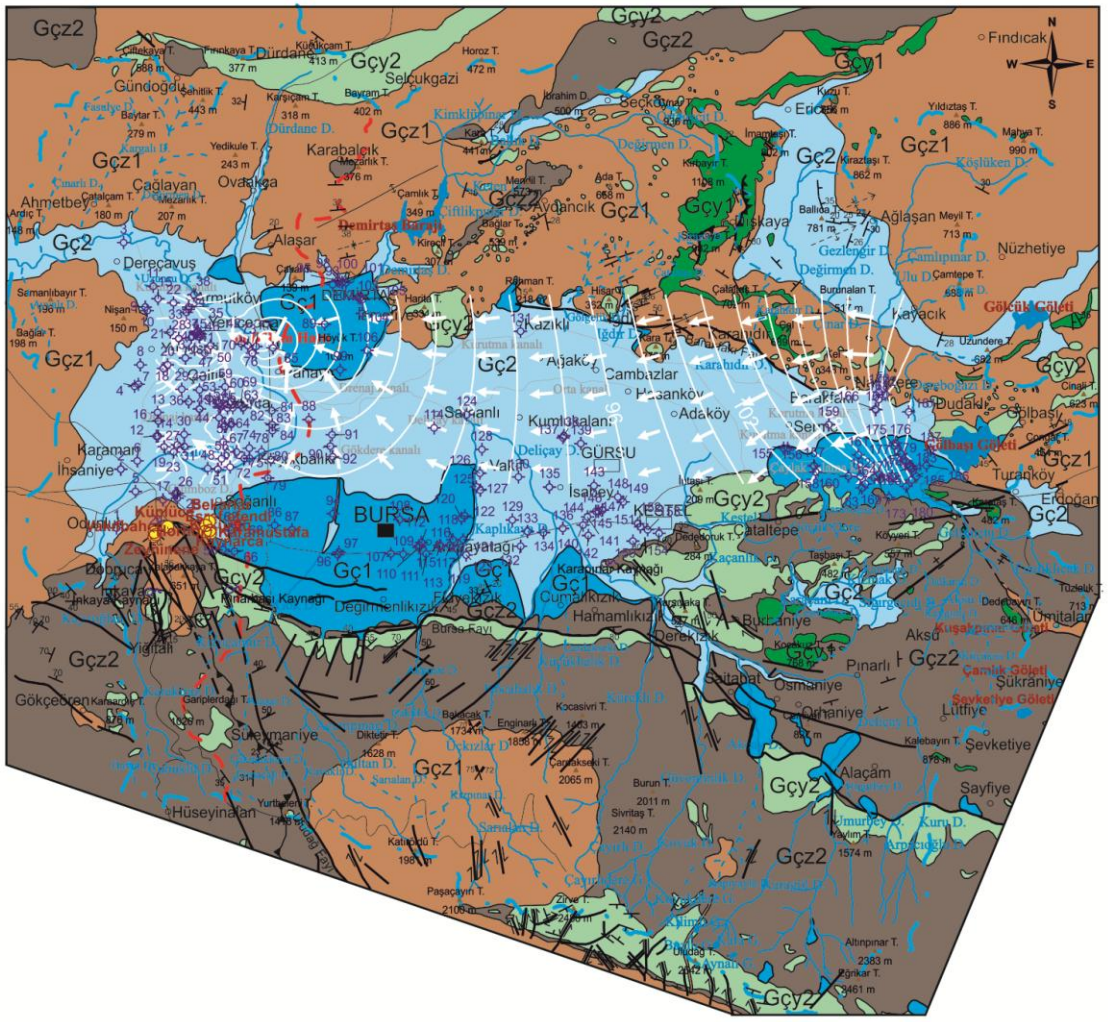
PALEOZOYİK
- PERMİYEN ÜST: Nilüfer Fm.
- Tektonik dokanak-Tectonic contact
- Yörüktepe Fm.
- Tektonik dokanak-Tectonic contact
- Pzmu Metaultramafikler
- Tektonik dokanak-Tectonic contact
- Uludağ Mermeri
- Uludağ Metamorfitleri

BURSA OVASI VE ÇEVRESİNİN HİDROJEOLOJİ HARİTASI

HYDROGEOLOGICAL MAP OF BURSA PLAIN AND ITS VICINITY

EK-3

(MERVE ÖGER, 2012)



AÇIKLAMALAR/EXPLANATIONS

- Gç1 — Birincil gözenekli yüksek geçirimli birim / Primary porosity high permeable unit
- Gç2 — Birincil gözenekli düşük geçirimli birim / Primary porosity low permeable unit
- Gçy1 — İkincil gözenekli yüksek geçirimli birim / Secondary porosity high permeable unit
- Gçy2 — İkincil gözenekli düşük geçirimli birim / Secondary porosity low permeable unit
- Gçz1 — Az geçirimli birim / Low permeable unit
- Gçz2 — Geçirimsiz birim / Impermeable unit

İŞARETLER/SYMBOLS

- Düşey fay, yeri yaklaşık düşey fay / Vertical fault, approximately located vertical fault
- Doğrultu atımlı fay, yeri yaklaşık doğrultu atımlı fay / Strike-slip fault, approximately located strike-slip fault
- Tanımlanmamış fay, yeri yaklaşık tanımlanmamış fay / Undefined fault, approximately located undefined fault
- 55 — Eğim atımlı fay / Dip-slip fault
- Bindirme / Thrust
- Senklinal ekseni ve dalımı, yeri yaklaşık senklinal ekseni ve dalımı / Axis and plunge of syncline, approximately located axis of plunge of syncline
- Antiklinal ekseni ve dalımı, yeri yaklaşık antiklinal ekseni ve dalımı / Axis plunge of anticline, approximately located axis of plunge of anticline
- Tabaka doğrultu ve eğimi / Strike and dip of layer
- Çatlak doğrultu ve eğimi / Strike and dip of joint
- Şistozite doğrultu ve eğimi / Strike and dip of schistosity
- Karayolu / Grade road
- Tepe / Hill
- İl / City
- İlçe / Borough
- Köy / Village
- Göl,gölet ve baraj / Lake, pond and dam
- Drenaj alanı / Dranaige area
- Dere / Stream
- Mevsimlik dere / Seasonal stream
- Kanal / Canal
- Statik yeraltısuyu seviyesi / Static groundwater level
- Kuyu / Borehole
- Termal su / Thermal water
- Kaynak suyu / Spring water

(MTA, 2009'dan Sadeleştirilerek Deneştirilmiştir)