

**ESKİŞEHİR-ALPU OVASI SU SONDAJ VERİLERİNİN
CBS KULLANILARAK YORUMLANMASI**

Hasan H. UYSAL
Yüksek Lisans Tezi

Uzaktan Algılama ve CBS Anabilim Dalı
Kasım-2007

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Hasan Hüseyin UYSAL'ın “Eskişehir-Alpu Ovası Su Sondaj Verilerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Yorumlanması” başlıklı **Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 25.10.2007 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim- Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı) :	Prof. Dr. CAN AYDAY
Üye	: Yard. Doç. Dr. GALİP YÜCE
Üye	: Yard. Doç. Dr. SEMRA GÜNAY

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ESKİŞEHİR-ALPU OVASI SU SONDAJ VERİLERİNİN COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK YORUMLANMASI

Hasan H. UYSAL

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Uzaktan Algılama ve CBS Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Can AYDAY

2007, 57 sayfa

Su, yaşam için temel bir maddedir. Gelecekte insanlığın bu doğal servetten temiz ve sağlıklı bir şekilde yararlanabilmesi, onun en uygun ve ekonomik şekilde kullanılması ve korunmasına bağlıdır.

Bu çalışmada, çalışma alanındaki verimli bölgelerin tespitinde ihtiyaç duyulan su kalite ve miktarının saptanması için Devlet Su İşleri tarafından 1954-2004 yılları arasında Alpu Ovası'nda açılan kuyulardan sağlanan veriler ve 2007 yılı kimyasal analiz sonuçları Coğrafi Bilgi Sistemi kullanılarak yorumlanmıştır.

Bu çalışmada, kuyu loglarının bütün verileri kullanılarak Alpu Ovası'nın sayısal haritaları hazırlanmıştır. Bu veriler esas alınarak Geomedia 5.0 programında bazı sorgulamalar yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, Alpu Ovası'ndaki sondaj kuyusu verilerinin bir araya getirilip; ovadaki yeraltı suyu özellikleriyle ilgili her türlü bilgiye kolaylıkla ulaşabilmek için düzenli bir şekilde bilgisayar ortamında saklanmasıdır. Bunun yanında bu çalışma sayesinde bilgisayar ortamındaki veriler gerektiğinde kolaylıkla güncellenebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Alpu Ovası, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Yeraltı suyu, Kuyu, Yeraltı suyu kimyası

ABSTRACT

Master of Science Thesis

EVALUATION OF WELL DATA OF ALPU PLAIN (ESKISEHIR) USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Hasan H. UYSAL

Anadolu University

Graduate School of Sciences

Remote Sensing and Geographic Information System Program

Supervisor: Prof. Dr. Can AYDAY

2007, 57 pages

Water is an essential material for living life. That's why this natural wealth should be used carefully to avoid its deterioration and preserved in the best status. If water can be exploited by optimally man can find it in clean and sufficient conditions still in future.

By this dissertation, data obtained from the boreholes in Alpu Plain, which drilled by State Hydraulic Works between 1954 and 2004, were evaluated and chemical analyses results of 2007 were interpreted by using Geographical Information System to determine water quality and quantity which needs to understand the productive regions in the study area.

By this study, numerical maps of Alpu Plain were prepared using all data of the well logs. On the basis of these data, some queries could be executed by Geomedia 5.0 programme.

The aim of this study is to store in computer memory the borehole data of Alpu Plain and to put all data together in order to provide any information concerning groundwater properties in the plain. Additionally, thanks to this study, the computerized data will be easily updated whenever it is required.

Keywords: Alpu Plain, Geographic Information System, Groundwater, Borehole,
Groundwater chemistry

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Çalışmanın Önemi	2
1.3. Çalışma Alanı.....	3
1.3.1. Çalışma alanının yeri.....	3
1.3.2. Çalışma Alanının Genel Jeolojisi	5
1.3.3. Çalışma Alanının Hidrolojisi.....	6
1.3.3.1. Akarsular.....	6
1.3.3.2. Kaynaklar	7
1.3.3.3. Akiferler	7
2. GENEL BİLGİLER	8
2.1. Su ve Su Döngüsü	8
2.1.1. Su Döngüsü ve Yeraltı Suyu	8
2.1.2. Suların Yeryüzündeki Dağılımı.....	9
2.1.3. Yeraltı Sularının Depolanması	10
2.1.4. Yeraltı Sularının Kalitesi ve Kullanma Ölçütleri	11
2.1.4.1. Yeraltı sularının kimyasal bileşimi ile akiferlerin litolojik bileşimi arasındaki ilişkiler	12
2.1.4.2. Yeraltı sularının kimyasal özellikleri	16
2.1.4.3. Suların çeşitli ölçütlere göre sınıflandırılması.....	20
2.2. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Nedir?	22
2.2.1. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanım Alanları	23
2.2.2. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Temel Bileşenleri	23
2.2.3. Coğrafi Bilgi Sisteminde Değerlendirilen Veri Şekilleri	24

2.2.4. Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanılacak Bir Projenin Aşamaları	24
3. YÖNTEM	26
3.1. Tez Kapsamında Yapılan Çalışmalar.....	26
3.2. Önceki Çalışmalar.....	28
3.2.1. Eskişehir-Alpu ovası hidrojeolojik etüt raporu	28
3.2.2. Eskişehir-Alpu ovası batısının yeraltı suyu sondaj verilerinin (CBS) kullanılarak yorumlanması	28
	25
4. BULGULAR	30
4.1. Yeraltı Suyu Verimi ve Akım Yönü.....	30
4.2. Su Kimyası	31
4.3. Bilanço Hesabı.....	33
4.3.1. Klasik yöntem ile bilanço hesabı.....	33
4.3.2. Cl yöntemi ile bilanço hesabı	37
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	38
KAYNAKLAR	40
Ek-1 Eskişehir- Alpu ovası jeoloji haritası	41
Ek-2 Alpu ovası KB-GD yönünde alınmış jeolojik kesit	42
Ek-3 Alpu ovasında farklı bölgelerde açılmış sondaj kuyularına ait birimler	43
Ek-4 Alpu ovası özgül verim-litoloji ilişkisi haritası.....	44
Ek-5 Alpu ovası ölçüm noktaları ve sondaj kuyularının dağılımı.....	45
Ek-6 Alpu ovası 2007 yılı Nisan ayı su tablası haritası	46
Ek-7 Alpu ovası 2007 yılı Ekim ayı su tablası haritası.....	47
Ek-8 Alpu ovası eş klor eğrileri haritası.....	48
Ek-9 Alpu ovası eş sülfat eğrileri haritası	49
Ek-10 Alpu ovası 2007 yılı Mayıs ve Eylül ayları klor değerlerini karşılaştırma haritası	50

Ek-11 Alpu ovası 2007 yılı Mayıs ve Eylül ayları sülfat değerlerini karşılaştırma haritası	51
Ek-12 Alpu ovası eş EC eğrileri haritası	52
Ek-13 Alpu ovası eş sertlik eğrileri haritası	53
Ek-14 Alpu ovası eş % sodyum eğrileri haritası.....	54
Ek-15 Alpu ovası eş nitrat eğrileri haritası	55
Ek-16 Alpu ovası yeraltı suyu veri ve kalite dağılım haritası.....	56
Ek-17 Alpu-Esence köyü (7553) limnigrafli kuyu statik su seviyesi değişim grafiği	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

1.1. Çalışma alanının yeri.....	4
2.1. Su döngüsü.....	9

ÇİZELGELER DİZİNİ

2.1. Dünyadaki tatlı su potansiyelinin dağılımı.....	10
2.2. Sulama sularının sınıflandırılmasında esas alınan kalite kriterleri.....	20
2.3. Suların Fransız serlik derecesine göre sınıflandırılması.....	21
2.4. Suların toplam katı madde miktarına göre sınıflandırılması	21
2.5. Suların % Na – Özgül elektriksel iletkenliğe göre sınıflandırılması.....	22
2.6. Suların tuzluluk ve sodyum miktarlarına göre sınıflandırılması.....	22
2.7. Sondaj kuyularına ait veri tabanına girilen genel özellikler.....	27
2.8. Sondaj kuyularına ait veri tabanına girilen kimyasal özellikler.....	27
4.1. Penman yeraltı suyu bilanço çizelgesi ve çizelge hazırlanırken kullanılan formüller	34
4.2. Eskişehir-Alpu ovası yeraltı suyu bilançosu.....	36

1. GİRİŞ

Tüm doğal kaynaklardan farklı olarak su, yaşam için temel bir maddedir. Her geçen gün artan talep karşısında, bu doğal servetin en iyi şekilde kullanılması ve korunması insanoğlu için bir yaşam borcudur.

Dünya'daki tatlı suların önemli bir bölümünü 'yeraltı suları' oluşturmaktadır. Yeraltı suları, yüzey sularına göre insanların isteklerine daha ucuz, pratik ve çabuk çözümler getirdiği gibi; dış etkilerle kirlenmeye de daha az maruz kalmaktadır. Ancak, kirlenmeleri halinde temizlenmeleri çok pahalı ve uzun zaman almaktadır.

Bir ülkenin en değerli servetlerinden biri olan "görünmez kaynak" yeraltı sularının tüm dünyada aranması, bulunması, işletilmesi ve korunması insanlık aleminin geleceği için son derece önem taşımaktadır.

İnsanlık tarihinin başlamasıyla birlikte, insanın suya olan ihtiyacı da başlamıştır ve insanlık var oldukça bu ihtiyaç devam edecektir. Ayrıca, bir tarım ülkesi olan ülkemizde suyun değeri çok büyüktür. Bir çok bölgemizde tarımsal alanların yüzey suları ile sulanması yeterli olmamaktadır. Bu durum insanları yeraltı suyu kullanımına yöneltmektedir. Yeraltı suyu elde etmek için de sondaj kuyusu açma gereksinimi vardır. Bu durum insanlara, sadece sondaj ile su çıkarma tekniklerinde ilerlemekle yetinmeyip; suyun araştırılması, bulunması, bulunan suyun özelliklerini kullanarak analiz yapılması ve yeraltı sularının en verimli şekilde kullanılmasını sağlamaya yönelik çalışmalar da yapılması zorunluluğunu getirmiştir. Yapılan sondaj çalışmaları sırasında ve sonrasında elde edilen verilerin doğru şekilde analizi, insanların su kullanımı konusunda doğru adımlar atmasını ve hem zamandan hem de paradan tasarruf etmesini sağlayacaktır. Bu verilerin doğru analiz edilebilmesi için düzenli bir şekilde bir araya getirilmesi ve saklanması gerekmektedir.

1.1. Çalışmanın Amacı

Eskişehir-Alpu Ovası'nda da çok sayıda yeraltı suyu amaçlı sondaj kuyusu bulunmaktadır. Kuyulara ait çok sayıda veri mevcuttur. Devlet Su işleri

(DSİ)'nin kurulduğu yıldan (1954) beri elde edilen ve günümüze kadar gelen bu veriler kuyu logları şeklinde dosyalarda saklanmaktadır. Çağımızın bilgisayar çağı olduğu düşünüldüğünde, bu konuda bilgisayar ve bu amaca yönelik bilgisayar programlarının kullanılması yapılan işin daha hızlı ve çok yönlü olmasına katkı sağlayacaktır. Bu konuya uygulanacak yöntemlerin başında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) gelmektedir. Sayısal haritalarla veri tabanları arasında köprü kurmaya yarayan bir yöntem olan CBS, uygulandığı alanlarda yorum ve analiz çalışmalarını geliştirmiştir.

Bu çalışmanın amacı; Eskişehir-Alpu Ovası'na ait sondaj verilerinin bilgisayar ortamında depolanıp bir araya getirilerek ve rahatlıkla güncellenebilecek bir şekilde saklanarak gerektiği zaman ovanın yeraltı suyu durumu ile ilgili istenilen analizlerin kolaylıkla yapılabilmesini sağlamaktır.

1.2. Çalışmanın Önemi

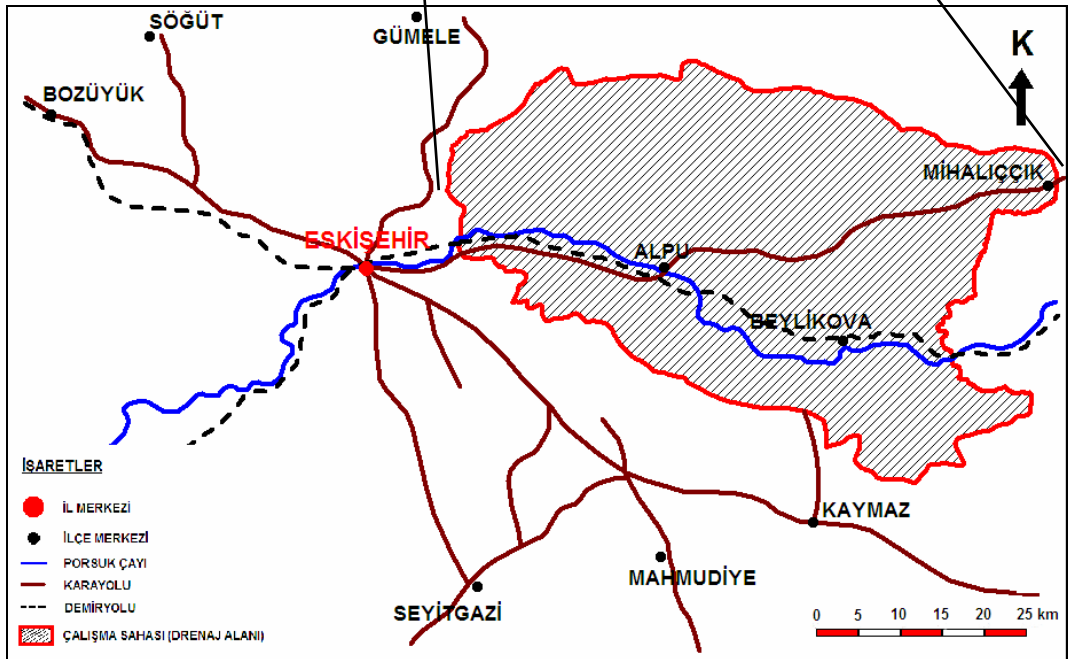
Genel bir kuraklık yaşadığımız günümüzde, yağışların azalması nedeniyle kaynaklar ve yüzey suları kurumakta ya da debileri azalmaktadır. Bu durum insanlara yeraltı suyunu daha fazla kullanma zorunluluğu getirmektedir. Zaten kurak geçen mevsimler nedeniyle yeterince beslenemeyen yeraltı suyu seviyelerinin düşmesinin yanında, yoğun talep olması, en değerli ve son çare olarak görülen yeraltı suyu rezervlerimizi yok olma tehlikesiyle karşı karşıya bırakacaktır. Bu nedenle yeraltı suyu kullanımının planlı bir şekilde yapılması gerekmektedir.

Ülkemizin kurak geçen İç Anadolu Bölgesi'nin kuzeybatısında bulunan, verimli tarım arazilerinin bulunduğu, Eskişehir-Alpu ovasında da yeraltı suyu rezervinin ve kalitesinin belirlenmesi; mevcut suyun en verimli şekilde kullanılması için yapılan çalışmalar bölgedeki su varlığının geleceği açısından son derece önemli ve gereklidir.

1.3. Çalışma Alanı

1.3.1. Çalışma alanının yeri

Çalışma alanı, İç Anadolu'nun kuzeybatı kesiminde yer almaktadır. Eskişehir iline bağlı Mihalıççık ve Alpu ilçeleri etüt sahasının içerisinde (Şekil 1.1). Toplam drenaj alanı 2120 km² dir. Ova alanı 640 km² olup; genellikle doğu- batı yönünde uzanmakta ve 39° 27' – 39° 57' kuzey enlemleri ile 30° 41'- 31° 30' doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Ovanın ortalama kotu 750-800 m civarındadır [1].



Şekil 1.1: Çalışma alanının yeri

1.3.2. Çalışma Alanının Genel Jeolojisi

Çalışma alanında temeli Paleozoyik yaşlı şistler ve mermerler oluşturur. Kuzey ve güney drenaj sınırlarına paralel olarak batı-doğu istikametinde uzanan şistler etüt alanının en yüksek kotlarında yüzlek verirler.

Temeli oluşturan bir diğer birim olan Paleozoyik yaşlı mermerler de şistler gibi etüt alanının yüksek kotlarında gözlemlenirler. Paleozoyik birimler şiddetli metamorfizmaya uğramışlardır. Bu nedenle kırıklı ve kıvrımlıdır. Bu birimlerin tabakalanmaları KB-GD doğrultulu olup 25-55 ° KD eğimlidirler.

Çalışma alanında yer yer geniş yüzlekler veren Mesozoyik yaşlı ofiyolitler özellikle alanın kuzeybatısında batı-doğu istikametinde kesintisiz geniş bir şerit halinde uzanır. Kuzey doğuya doğru da yine küçük yüzlekler verir. Ovanın güney sınırında da sınır boyunca yer yer Paleozoyik birimlerin üzerinde gözlenirler.

Temel, oluşturan birimler üzerine kireçtaşı-killi kireçtaşı-tüf-tüfit ve konglomera ile temsil edilen Neojen yaşlı birimler gelir. Bu birimlerin Mesozoyik ve Paleozoyik birimlerle olan alt dokanağı açısız uyumsuzluk gösterir. Konglomeranın alt seviyeleri çakıllı ve çimento maddesi kildir. Serinin içerdiği tane boyu ovanın doğusuna gidildikçe küçülmektedir. Özellikle doğu bölgelerde sarımtırak renkli kumtaşı ve kilaşı bantları içermektedir.

Konglomeranın üzerine uyumlu bir şekilde tüf-tüfit- killi kireçtaşı-kireçtaşı ardalanmasından oluşan birim gelir. Tüf-tüfit bantları genellikle ovanın batı kısımlarında bulunmaktadır. Etüt alanının doğu sınırında Gökçeayva-Yeniyurt köyleri arasında kalan bölgede killi kireçtaşları içerisinde jips kristalleri mevcuttur. Diğer bölgelerde jips kristallerine rastlanmaz.

Birim içerisindeki kireçtaşları sarımtırak renklidir. Bunlar killi kireçtaşı ve tüfit bantları ile ardalanmalıdır. Ovanın batı kısımlarında ise yer yer merccekler şeklinde killi kireçtaşı seviyelerinin içinde bulunurlar. Karstik oluşumları az gelişmiştir. Genellikle yatay ve yataya yakın bir tabakalanma gösterirler. Açılan sondaj kuyularında birimin kalınlığının yer yer 200 m ye kadar ulaştığı tespit edilmiştir.

Ovanın düşük kotlarında en genç birim olan alüvyon mevcuttur. Porsuk çayı ve yan derelerin getirip biriktirdiği malzemelerle oluşmuştur. Genellikle kırmızı kil, çakıllı kil, kum ve çakıllardan oluşmuştur. Kalınlığı 10-40 m arasında değişir. Doğuya doğru yüzeysel yayılımı ve kalınlığı tedrici olarak azalır. Ovanın batısında daha iri malzemeler hakimken, doğuya gidildikçe malzeme boyutunun küçüldüğü gözlemlenir (bkz. Ek 1 [2], 2 ve 3).

1.3.3. Çalışma Alanının Hidrolojisi

1.3.3.1. Akarsular

Çalışma alanında havzayı batı-doğu istikametinde kateden Porsuk çayı bulunmaktadır. Porsuk çayı, havzanın batısında Eskişehir ovasını kat ettikten sonra Çavlum köyünde çalışma alanına dahil olur. Batı-doğu istikametinde akışına devam ederek ovayı kat ettikten sonra Yalınlı istasyonunda çalışma alanını terk eder. Diğer taraftan Kütahya-Eskişehir yolu 8. kilometresindeki Karacaşehir regülatöründen başlayan Porsuk sulaması sağ ve sol kanalları Çavlum köyünde ovaya dahil olur.

Mihaliççik Deresi: Ovanın doğusunda Mihaliççik kazası ile Kayı köyü arasında bulunan pınarlardan beslenmektedir. Bir müddet doğu- batı istikametinde aktıktan sonra Bozan beldesi yakınlarında ani bir dirsek yaparak güneye doğru döner. Yeşildon-Çardakbaşı köyleri arasında Porsuk çayına ulaşır. Muntazam bir debiye sahip olmayıp ancak sulama mevsimi dışında Porsuk çayına ulaşabilmektedir.

Bügdüzü Deresi: Çalışma alanının kuzey drenaj sınırı yakınlarında Başören köyü civarında doğar. Sırasıyla Dereköy-Özdenk ve Bügdüzü köylerini geçtikten sonra Alpu- Mihaliççik asfaltında Mihaliççik deresine erişir. Muntazam bir debisi olmayıp, yağışlarda büyük debili sular taşır.

Okçu Deresi: Çalışma alanının güneydoğu drenaj alanı hududunda, Okçu köyü içinde bulunan kaynaklardan oluşur. Kuzeye doğru akışa geçerek yoluna devam eder. Doğray köyü civarında Porsuk çayına ulaşır. Sulama mevsimi dışında suları Porsuk çayına ulaşma olanağı bulur [1].

1.3.3.2. Kaynaklar

Havzada, bilhassa ova kenarlarında, kısmen de dere yataklarında yeraltı suyu tablasının topoğrafya ile kesişmesinden gelen birçok alüvyon kaynakları ile fay kaynakları bulunmaktadır. Çalışma sahasında tespit edilen 33 adet kaynak mevcuttur [1].

1.3.3.3. Akiferler

Alpu ovasında bugüne kadar yapılan sondaj çalışmaları, hidrojeolojik ve jeofizik araştırmalar sonucu alüvyon ile Neojen konglomera ve kireçtaşlarının akifer özelliği taşıdığı tespit edilmiştir.

Alüvyon Akifer: Porsuk ovası alüvyon sahası 640 km² dir. Bu alüvyon sahanın doğu-batı uzunluğu 55 km dir. Kuzey-güney yönünde ise uzanım çok değişken olup, ovanın batısında 16 km ye çıkarken, doğusunda 0,5-1 km ye kadar düşer. Alüvyon kalınlığı 10-40 m arasında değişkenlik gösterir. Alüvyonun kalın olduğu bölgeler Alpu ilçesinin batısında kalan kısımdır. Buradan sonra doğuya doğru kalınlık tedrici olarak azalma gösterir. Bunun yanında alüvyon kalınlığı Porsuk çayı yatağına yaklaştıkça artmakta, kuzey ve güneye doğru yataktan uzaklaştıkça azalmaktadır.

Kil-silt-kum-çakıl ve kumlu çakıllı kilerden oluşan bu serinin oluşumu doğrudan Porsuk çayı ile ilgilidir. Porsuk çayı yatağı çevresinde genellikle kum-çakıl, ova kenarlarına doğru ise kil ve siltler hakimdir. Ovanın doğusundaki alüvyonların kil ve silt içeriği de batıya göre daha fazladır.

Neojen Konglomera ve Kireçtaşları : Alpu ovasında Neojen birimlerin sahasal yayılımı en geniş şekilde ovanın doğusunda, kuzey ve güneyindedir. Yaklaşık olarak 815 km² lik bir alan kaplarlar. Diğer taraftan ovanın kenarlarında ve düzlük kısımlarında alüvyonun altında yine Neojen birimler yer almaktadır. Tabakaların tavan seviyesinin derinliği 30-150 m arasında değişmektedir. Tabaka kalınlıkları ise 20-105 m arasındadır.

Neojen birimde üstte kireçtaşı bulunmaktadır. Altta marn-tüfit-kil çimentolu konglomera ve aglomera vardır. Bu marn-tüfit serisi içinde ayrıca yersel kireçtaşı merceklerine rastlanmaktadır [1].

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Su ve Su Döngüsü

Bütün canlı varlıklar için hayat demek olan su; iki atom H (hidrojen) ve bir atom O (oksijen)'den oluşan kimyasal bir bileşimdir (H_2O). Tarif edilen bu saf su, ayrıca içerisinde eriyik veya asılı olarak daha başka katı, sıvı ve gaz halde maddeler de içerebilmektedir.

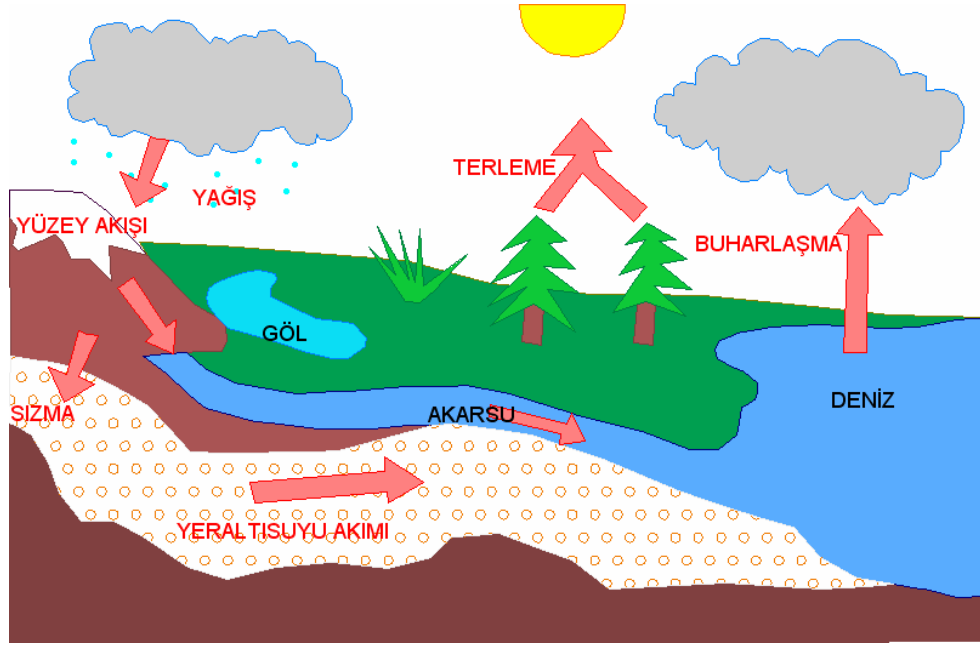
İnsanoğlunun yeryüzüne gelmesiyle birlikte tabiatta hazır bulunduğu suyun, atmosfer ile yeryüzü arasında belirli bir düzen içinde varlığını koruyarak dolaşım durduğu bilinmektedir. Bu olaya “Su Döngüsü” denilmektedir [3].

2.1.1. Su Döngüsü ve Yeraltı Suyu

Yeryüzünde su, okyanuslar, kara ve atmosfer içerisinde sürekli bir dolaşım içerisinde. Bu döngü için gerekli enerji güneş tarafından sağlanır. Güneş enerjisi yeryüzü üzerindeki serbest su yüzeylerinden (okyanuslar, denizler, göller, nehirler, vb.) suyu buharlaştırarak atmosferde bulutlara dönüştürür. Bu bulutların kara üzerinde soğumaya bağlı olarak yağışa dönüşmesi ile su bulunduğu ilk noktadan binlerce metre yüksekliğe çıkabilir. Yağışın önemli bir bölümü yağış sahasında, hidrografik ağa bağlı olarak yüzeysel akışa geçerek dere ve nehirler aracılığı ile tekrar büyük su kütlelerine doğru yol alır. Yağışın bir kısmı da, yüzeye yakın birkaç metrelik derinliğe kadar yeraltına süzülür. Yeraltına süzülen bu suyun çok az bir kısmı hemen yüzey altından akarak en kısa yoldan ve topoğrafyanın uygun yerlerinden tekrar yüzeye çıkar ve yüzey sularına karışır. Bu suyun bir kısmı da toprak, ağaç ve bitki kökleri tarafından tutulur. Ancak, ağaç ve bitki kökleri tarafından tutulan bu suların az da olsa bir kısmı ağaç ve bitkilerde meydana gelen terleme sonucu tekrar buharlaşarak atmosfere karışır.

Yeryüzüne düşen yağışın yukarıda belirtilen dağılımından artı kalan kısmı, jeolojik formasyonların çatlak, yarık, boşluk ve gözeneklerinden süzülerek yeraltında değişik derinliklerde, uygun jeolojik ortamlarda depolanarak yeraltı suyunu oluştururlar. Yeraltı suyu terimi genel olarak yüzeyden daha aşağıda; su

tablasının altındaki doymun zemin veya jeolojik formasyon içinde bulunan su için kullanılır. Bu yeraltı sularının da büyük bir kısmı topoğrafyanın uygun yerlerinden kaynak halinde tekrar yeryüzüne çıkarak büyük su kütlelerine doğru yol alırlar. Bu su dolaşımı ‘Su Döngüsü’ adını alır (Şekil 2.1) [3].



Şekil 2.1: Su Döngüsü

2.1.2. Suların Yeryüzündeki Dağılımı

Çeşitli kuruluşlar ve bilim adamları tarafından suların yeryüzündeki dağılımı hakkında yapılan çalışmalar sonucu yeryüzündeki su miktarı 1360 milyon km³ olarak tahmin edilmektedir. Bu suyun % 95.5’ i tuzlu, %4.5’ i ise tatlı su olup, bunun da %2.2’ si buzullar içerisinde, %2.3’ü ise atmosfer, yerüstü ve yeraltında bulunmaktadır.

Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından 1991 yılında yayımlanan bir raporda dünyadaki tatlı su potansiyelinin dağılımı aşağıdaki gibi ifade edilmiştir (Çizelge 2.1).

	Hacim (milyon km³)	% dağılımı
Atmosfer	0,013	0,036
Göller ve nehirler	0,200	0,323
Yeraltı suyu	8,000	22,442
Kar ve buz	29,000	77,199
TOPLAM	37,213	100,000

Çizelge 2.1: Dünyadaki tatlı su potansiyelinin dağılımı [3]

Tatlı su, büyük ölçüde yağışa bağımlı olup, yağış da yeryüzüne çok dengesiz olarak dağılmıştır. Tatlı suyun en bol olduğu kıtalar sırasıyla Asya, Güney Amerika, Afrika, Kuzey Amerika, Avrupa ve Avustralya'dır [3].

2.1.3. Yeraltı Sularının Depolanması

Yeryüzüne düşen yağışlar yağış sahasındaki jeolojik yapının geçirimsizlik özellikleri ile orantılı olarak gözenek ve çatlaklar vasıtasıyla yeraltına süzülürler. Yağış sahasının bitki örtüsü de süzülme miktarına doğrudan etki yapar. Yağış suları orman ve bitkilerle kaplı alanlardan ziyade çıplak arazilerde daha fazla yeraltına süzülürler. Yeraltında değişik derinliklerde uygun jeolojik ortamlarda biriken bu yağış suları, yeraltı sularını meydana getirirler. Uygun jeolojik ortamdan kasıt; jeolojik formasyonun yeterli ve birbiriyle irtibatlı gözenekliliğe sahip olması ve alttan geçirimsiz bir jeolojik birimle sınırlanmış olması demektir. Bu tür jeolojik birimlerin suyla doymuş hale gelmeleri sonucu akiferler oluşur. Akifer, boşlukları tamamen yeraltı suyu ile dolmuş, bu suyu bir noktadan başka bir noktaya iletebilen ve en önemlisi sondajlarla ekonomik olarak su verebilme özelliğine sahip jeolojik yapılar olarak tarif edilebilirler.

Akiferler, jeolojik yapının litolojik özellikleri bakımından “taneli akiferler” ve “çatlaklı ve erime boşluklu akiferler” olarak ikiye ayrılabilirler. Su veren taneli formasyonlar; silt, kum ve çakıl elemanlarından oluşan birimler, alüvyon, bir çimento malzemesi ile pekişmiş konglomera, aglomera ve benzeri formasyonlardır. Çatlaklı kayalar ise; kireçtaşı, dolomit, mermer, bazalt, granit, tuf, nadiren kalkışist ve benzeri formasyonlardır.

Akiferler; içerisindeki yeraltı sularının sahip oldukları enerji, hidrostatik basınç ve sınır koşullarına göre akiferler; serbest, basınçlı ve yarı basınçlı olarak adlandırılırlar. Ayrıca boşalım kotuna göre akiferdeki yeraltı suyu rezervi statik, dinamik, yenilenebilir ve işletme rezervi olarak adlandırılırlar. Yeraltı suları; hidrolojik çevrimin bir parçası olarak sürekli döngü halindedir. Ancak yeraltı suyu hızı yüzey sularına göre oldukça düşüktür [3].

2.1.4. Yeraltı Sularının Kalitesi ve Kullanma Ölçütleri

Yeryüzünde bulunan sular hiçbir zaman saf halde bulunmaz. Az ya da çok erimiş ya da asılı maddeleri kapsar. Bu maddelerin türü ve miktarı suların kalitesini karakterize eder. Yeryüzünde görülen, deniz, haliç, göl, akarsu ve yeraltı sularının kalitesi hiçbir zaman birbirinin aynı olmaz. Bundan dolayı bunların bileşimleri ve çeşitli yollarla kirlenmeleri insanoğlunu birçok yönlerden ilgilendirmektedir.

Yeryüzünde ve yeraltında bulunan sular çeşitli amaçlar için kullanılmakta, sulamada ve endüstride yararlanılmaktadır. Suların bu işlerde kullanılması için; fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özelliklerinin bilinmesi ve kullanmada her bir iş için bu özelliklerin belli sınırları aşmaması gerekir. Bundan dolayı suların kullanılacakları yerlere ve işlere göre standartları yapılmış ve yapılmaktadır. Bu özellikler uygun görüldükten sonra, miktar, maliyet ve diğer etkenlerin analizleri yapılır.

Suların içinde bulunan erimiş maddeler, kimyasal bileşikler ve bakteriler bunların geldikleri yerler, bölgenin genel jeolojisi, hareket ve akış yönleri, geçtikleri yollar ve çevrenin nitelikleri hakkında bilgi verir.

Suların kalitesi, çeşitli açılardan önemlidir. Her suyun ayrı özelliği ve her kullanım amacının da ayrı isteği vardır. İçme, sulama ve endüstrinin çeşitli dalları için istenen su kalitesi birbirinden farklıdır. Bundan dolayı, su teknolojisinde amaca göre çalışma ve analizler yapılarak içme suyu, sulama suyu ve endüstri suyu standartları hazırlanmıştır [4].

2.1.4.1. Yeraltı sularının kimyasal bileşimi ile akiferlerin litolojik bileşimi arasındaki ilişkiler

Yağış olarak yeryüzüne düşen su, oldukça az tuzlu, bazı hallerde saf suya yakın bileşimdedir. Bu şekilde çok az tuz ihtiva eden sular, kısmen tuzlu sulara göre daha fazla tuz çözme eğiliminde olurlar. Zeminle temas ettikten sonra, doygunluğa erişene kadar tuz çözmeye çalışırlar. Su, hangi zeminde bulunuyorsa, o zemin minerallerini eriterek tuzluluğunu artırır.

Bir suyun herhangi bir tuz için doygunluğa erişmesi, artık o tuzdan daha fazla çözemeyeceği anlamına gelir. Ancak, bir tuz için doygunluğa erişen su, başka bir çeşit tuzu rahatlıkla çözebilir. Suyun bir tuza ne zaman doyacağı, tuzun sudaki çözünürlüğüne bağlıdır.

Tuzların suda çözünürlüğü tuz cinsine göre değişiktir. Aynı şartlarda, bazı tuzlar daha ancak 1mg/l'nin ondaları kadar çözünürken, bazı tuzlar birkaç bin mg/l'ye kadar çözünebilirler.

Suyun bir tuza doyması, tuz ile su arasında bir dengenin kurulması demektir.

İki yönlü yürüyen bu olayda, bir fazdan ayrılan ve o faza geri dönen tanecikler (iyon veya moleküller) eşit ise denge kurulmuştur. Böyle bir su, söz konusu tuza doymuştur. Ancak buradaki denge, değişken bir dengedir. Ortamdaki değişmelere bağlı olarak denge sağa veya sola kayabilir.

Aynı bir tuzun sudaki çözünürlüğünü etkileyen başlıca faktörler; sıcaklık, basınç, suyun hızı, temas süresi ve temas yüzeyinin büyüklüğü ile suda önceden çözülmüş olan diğer tuzların cins ve miktarıdır.

Genel olarak sıcaklık ve basınç birçok tuzun çözünürlüğünü artırır. Suda çözünen farklı iyonlar birbirinin çözünürlüğünü artırırken, benzer iyonlar çözünürlüğü azaltır. Ayrıca CO₂ gazı, kireçtaşı ve dolomitin çözünürlüğünü bir hayli artırır.

Doğal suyun kimyasal bileşimini etkileyen faktörler içinde en önemli değişken litolojidir. Ancak litoloji, suyun tuz miktarından çok, tuzluluğun kompozisyonunu, bir başka deyişle sudaki iyonların oransal miktarını belirleyen bir faktördür. Diğer değişkenler, iyonların yüzdesi sabit kalmak üzere

miktarlarının artması veya azalması yönünde etki ederler. Örneğin; kireçtaşıdan alınan bir suyun yüzde bileşimi ile jipsli zeminlerden alınan suyun yüzde bileşimi farklıdır. Bu fark litoloji ile ilgilidir. Ancak kireçtaşıdan alınan bütün suların tuzluluğu aynı değildir. İyonların oranı yaklaşık aynı kalmak üzere, bir kireçtaşı suyu başka bir kireçtaşı suyundan 5-10 kat daha fazla tuzlu olabilir. Bu fazlalık, kireçtaşının dokusal yapısına, su ile temas yüzeyinin büyüklüğüne, temas süresine, sıcaklık-basınç gibi fiziksel şartlara ve suyun CO₂ konsantrasyonu gibi değişkenlere bağlıdır.

Doğal sudaki iyonların çoğu formasyondan gelmekle birlikte, bir kısım iyonlar litolojik olmayan kaynaklardan gelmektedir. Mesela sudaki karbonatın önemli bir kısmı hava ile topraktaki karbondioksitin suda çözünmesi ile oluşur. Teorik olarak, orta derecede tuzlu bir suda bulunan bikarbonatın yarısı karbonatlı kayaçların çözünmesinden, yarısı da toprak, hava ve diğer CO₂ kaynaklarından gelmektedir.

Litoloji ile suyun kimyasal bileşimi arasında ilişki kurarken, kayaçların cinsini, dokusunu, sudaki çözünürlüklerini bilmek gerekir. Bazı kayaç tiplerinde bulunan küçük birimler, suyun bileşimini ana kayaç kadar, hatta daha fazla etkileyebilirler. Karbonat çimentolu bir kumtaşı, kuvars şeklinde silisten oluşmakla beraber, kalsiyum ve bikarbonat iyonlarının hakim olduğu bir su boşaltabilir. Çünkü çimento maddesi olan CaCO₃'ün sudaki çözünürlüğü kuvarstan daha fazladır. Aşağıda bazı formasyonlara ait suların genel kimyasal özellikleri verilmiştir.

Granit ve Gnays suları: Granit ve Gnays'ın esas mineralleri ve bu minerallerin suya verebileceği elementler;

Kuvars: SiO₂

Ortoz: SiO₂, K

Plajiokas: SiO₂, Na, Ca

Biotit: Fe, K

Muskovit: K

Burada katyonları dengeleyen anyon, hava ve zemindeki CO₂ etkisi ile oluşan bikarbonattır. Minerallerin çözünürlükleri de dikkate alınırsa granit ve

gnays sularının kalsiyum karbonat, sodyum karbonat ve silisyumlu sular olacağı anlaşılır.

Granit suları çok az tuzludur (EC düşüktür). Çünkü granitin suda çözünürlüğü çok düşüktür. Granit sularında, ilk çıkışta daima CO₂ fazlalığı vardır. Bu yüzden ilk çıkışta asidiktirler. (pH 7 dir.)

Genellikle pH 7 olduğu için, bu sulara az da olsa demir bulunur. Silis miktarı çoğu zaman 10-30 mg/l arasında değişir. Genellikle Ca>Na>Mg>K>Fe=Al şeklinde bir sıralama geçerlidir. Mg/Ca ve Cl/Na oranları birden küçüktür. Cl ve SO₄ miktarı oldukça azdır.

Bazalt suları: Bazalt suları genel olarak granit sularına benzer. Ancak bu sulara silisyum daha fazladır. Sodyum miktarı granit sularında olduğu gibi kalsiyuma eşit değil, daha azdır. Bazalt sularında genellikle iyonların sıralanışı, Ca>Mg>Na şeklinde olup başlıca anyon bikarbonattır. Cl ve SO₄ genellikle düşüktür. Bazalt suları az tuzlu ve bikarbonatlı sulardır. Toplam tuz miktarı çoğu zaman 400 mg/l yi geçmez.

Kireçtaşı ve dolomit suları: Bilindiği gibi kireçtaşı kalsiyum karbonat, dolomit ise kalsiyum karbonat ile magnezyum karbonat karışımıdır. Kireçtaşı soğuk suda 14-16 mg/l çözünürlüğe sahiptir. Ancak karbondioksitli suda kireçtaşının çözünürlüğü oldukça fazladır.

Kalsitin suda çözünürlüğü, gözeneklilik ve pekişmişlik ile de ilgilidir. Sık dokulu, gözeneksiz kalkerler daha az çözünür.

Kireçtaşı sularında Cl ve SO₄ oldukça azdır. Bir baz değişimi olmamış ise Na ve Cl değerleri hemen hemen aynıdır. Kuru kalıntı nadiren 500 mg/l yi geçer. Mg/Ca oranı çoğu zaman 0,5 den küçüktür.

Dolomit suları genel olarak kireçtaşı sularına benzer. Ancak en bariz fark, dolomit sularında magnezyumun daha fazla, Mg/Cl oranınının 1 veya daha yüksek olmasıdır.

Jipsli zemin suları: Jipsin kimyasal formülü CaSO₄.2H₂O şeklindedir. Jipsin suda kısmen fazla çözünmesi yüzünden, jipsli zeminlerin yeraltı suyu genellikle doygunluğa yakın CaSO₄ çözmüştür.

Jips çözen sulara, SO₄ artışına paralel olarak Ca artışı ile birlikte Mg artışı da görülür. Çünkü jipsli zeminlerde fazlaca Mg bulunur. Jipse doyan su, bir

miktar daha $MgSO_4$ çözebilir. Ayrıca suda çözülmüş olan $NaCl$ jipsin çözünürlüğünü artırır. Bu şekilde hem jipsli, hem tuzlu zeminlerden geçen bir yeraltı suyunda kuru kalıntı 3000 mg/l yi geçebilir.

Jipsli zemin sularında karbonat miktarı normalden daha azdır. Çünkü, jips çözerek Ca bakımından zenginleşen suda bir miktar $CaCO_3$ çökelir.

Marn ve killi zemin suları: Marn ve kil aslında su taşımayan formasyonlar olmakla birlikte, bazı yeraltı suları, hareketleri sırasında marn, kil ve şeyller ile temas edebilir.

Bu tür zeminler çok ince gözeneklidir. Pratikte geçirimsiz olan böyle zeminlerde suyun hareketi son derece yavaştır. Bu yüzden, tuzlu ve jipsli zeminlerden sonra en tuzlu sular, bu tür formasyonlarla temas etmiş sulardır. Cl ve SO_4 bir hayli yüksek olabilir. Buna paralel olarak Na ve Ca miktarı da artar. Aynı şekilde SiO_2 miktarı da diğer zemin sularından fazladır.

Marnlı ve killi zeminlerde baz değişimine sık rastlanır. Sudaki Ca ve Mg iyonlarının, zemin tarafından emilerek suya Na iyonu verilmesine baz değişimi denir.

Kum ve kumtaşı suları: Kum ve kumtaşları çok gözenekli, geçirgen zeminlerdir. Suyun temas ettiği akifer yüzeyi oldukça geniştir. Suyun akış hızı da çoğu zaman kireçtaşlarından yavaştır. Bunun sonucu bu tür zemin suları, normal kireçtaşı sularından daha tuzludur.

Kum ve kumtaşı sularında karbonat miktarı, yaklaşık olarak kireçtaşlarındaki kadar veya biraz azdır. Ancak Na , Mg , Cl ve SO_4 miktarları kalker sularından fazladır.

Ancak saf silisli kum ve kumtaşlarında durum biraz değişiktir. Bu tür zeminlerde zemin atmosferindeki karbondioksiti dengeleyecek kadar karbonat çözülememiştir. Bu yüzden sudaki CO_2 , denge için gerekenden fazladır. Bunun sonucu su hafif asidik olup pH 5-6 arasındadır. Karbonat çok az, Cl ve SO_4 karbonata yakın veya biraz fazladır. Ca ve Mg miktarı karbonatı dengeleyecek kadardır.

Alüvyon suları: Alüvyonlar kimyasal bileşim, tane büyüklüğü ve geçirimsizlik yönlerinden karmaşık bir yapıya sahiptir. Bazı hallerde çok gözenekli

ve geçirimli, bazen killi ve kumlu, bazen de gözenekli fakat daha az geçirimli minerallerden oluşan alüvyonun kimyasal bileşimi de oldukça değişkendir.

Anlatılan bu özellikleri sonucu alüvyondan alınan sularda tuz miktarı ve çeşidi de geniş sınırlar içinde değişir [5].

2.1.4.2. Yeraltı sularının kimyasal özellikleri

Yeraltının çeşitli derinliklerinde bulunan sular, buralardaki değişik bileşimli kayalarla temas halindedir. Bu kayaların suda eriyebilme derecelerine göre az ya da çok oranda erimiş madde yeraltı sularına karışır. Erimiş maddelerin miktarı, yeraltı sularının kayalarla değme süresine, suyun hızına, sıcaklığına, kayanın cinsine ve ortamın basıncına bağlı olarak değişir. Diğer taraftan atmosferden aşağı inerken içerisine erimiş halde kimyasal maddeleri alan yağmur suları, yeraltına süzülme sırasında bunların önemli kısmını beraberlerinde yeraltı sularına taşırlar. Böylelikle yeraltı sularında çeşitli kaynaklardan gelen kimyasal maddeler bulunur. Bu maddelerin belirli sınırları aşması halinde, yeraltı sularının kullanılma alanları da kısıtlanır. Ancak yeraltı sularının içindeki kimyasal maddelerin özel yöntemler kullanılarak analiz edilmesi ve miktarlarının saptanması ile bunların kullanılma yerlerinde, istenen koşullara uygun olup olmadıkları anlaşılabilir. Yeraltı suları içindeki çeşitli maddeler ile ph, sertlik ve elektriği geçirgenlik gibi diğer kimyasal özellikler laboratuvarlarda ayrıntılı olarak ölçülmektedir [4].

Yeraltı sularında bulunan bazı önemli iyonlar

Yeraltı sularının ayrıntılı kimyasal analizlerinde 50'den fazla özellik saptanır. Ancak herhangi bir yerdeki yeraltı suyunun içme, kullanma, endüstri ve sulama amaçları için uygun olup olmadığının anlaşılması için bu özelliklerin tümünün ayrı ayrı bilinmesi gerekmez. Sertlik, pH, elektriği geçirgenlik gibi özelliklerin yanı sıra, sayıları 10 ya da 15'i geçmeyen anyon ve katyonların miktarlarının öğrenilmesi ile, suyun kimyasal kalitesi ve kullanılacağı yer

hakkında bilgi sahibi olunabilir. Sulara özellik kazandıran bazı önemli iyonlar şunlardır:

Kalsiyum: Kalsiyum yeraltı sularına, kalsit, aragonit, dolomit, jips, anhidrit, fluorit gibi silikatlı olmayan minerallerin ve albit, anortit, piroksen ve amfibol gibi silikatlı minerallerdeki kalsiyumun eritilmesi ile karışabilir. Suda H^+ iyonunun bulunması kalsiyumun eritilmesini kolaylaştırır.

Genel olarak içilen yeraltı sularındaki kalsiyum miktarı 10-100 mg/l arasında değişir. Bazen bu miktar 500 hatta 1000 mg/l ye kadar çıkabilir. Kalsiyumun artması suyun tadını değiştirir ve sabunun köpürmesini azaltır. Kalsiyumun insan ve diğer canlıların sağlığı üzerinde bilinen zararlı bir etkisi yoktur. Bitkilerin gelişmesinde önemli rol oynayan kalsiyumun sulama sularında bol miktarda bulunması, sodyum yüzdesinin artışı azaltır ve böylelikle bu artıştan doğacak zararları önler.

Magnezyum: Yeraltı sularında kalsiyumdan sonra en fazla rastlanan kationdur. Yeraltı sularına çoğunlukla magnezyumlu kalker, dolomit ve serpantizasyon sonucu açığa çıkan magnezyum karbonatın eritilmesiyle karışır.

Magnezyum, yeraltı sularında çoğunlukla 10-100 mg/l arasında değişmektedir. Ender olarak; özellikle bazalt, serpantin, dolomit gibi magnezyumca zengin kayalar içinden çıkan kaynak sularında magnezyum, kalsiyumdan 2-3 kat daha fazla olabilir. Yeraltı sularında 125 mg/l'den fazla magnezyum bulunması halinde sular acılaşıp ve içilememektedir.

Sodyum: Yeraltı sularına en çok plajiyoklasların ayrışması ve kil minerallerinin baz değişimi sonucu karışır. Magmatik ve metamorfik kayalar içinden çıkan bazı kaynaklarda 1-20 mg/l sodyum bulunur. Yeraltı suları sulama işlerinde kullanıldığında, özellikle killi topraklar için sodyum miktarı çok önemlidir. Killi topraklar sodyumca zengin yeraltı suları ile sulandıklarında baz değişimi sonucu toprağın sodyum miktarı gittikçe artar. Böylelikle sıkı ve düşük permeabiliteli 'Alkali Toprak' lar oluşur.

Sülfat: Yeraltı sularındaki sülfatın büyük bir kısmı jips ve anhidritten ileri gelmektedir. Bunların dışında az miktarda piritin oksidasyonu ile oluşan demir sülfattan, magnezyum ve sodyum sülfattan da gelebilir.

İçme sularındaki sülfat miktarı 200-400 mg/l arasındadır. Tarımda, toprağın tuzluluğunu arttırması dışında zararlı etkisi yoktur. Sulama sularında 250 mg/l'ye kadar olan miktarlar bitki beslenmesi için faydalıdır. Bu miktar 500 mg/l'nin üzerine çıktığında zararlı olmaya başlar.

Nitrat: Yeraltı sularında nitrat fazlası canlıların artıkları ve suni gübreler yolu ile oluşur. Alfa alfa gibi bazı bitkiler de havanın azotunu nitrata dönüştürerek toprağa verebilirler. Sularda 5-10 mg/l'nin üzerinde nitratın bulunması, bu suyun dışarıdan kirletildiğini gösterir. İçme sularında nitrat 25 mg/l'yi aşmamalıdır.

Nitrat bitkilerin esas maddesidir. Bu bakımdan sulama sularında fazla bulunması zararlı değildir. Çoğu zaman toprağa ve suya gübre olarak nitrat karıştırılır [4].

Yeraltı sularının kalitesini belirten iyon özellikleri

Yeraltı sularının kalitesi, bunların içinde bulunan iyonların miktarına göre değişir. Bu bakımdan yeraltı su kalitesinin incelenmesi iyon özelliklerinin araştırılması ile yapılmaktadır. Bu özelliklerden bazıları şunlardır:

Sertlik: Suların en önemli özelliği 'sertlik' tir. Suların sertliği, başta kalsiyum ve magnezyum bikarbonat iyonları olmak üzere, kalsiyum ve magnezyum sülfat, kalsiyum ve magnezyum klorür, kalsiyum ve magnezyum nitrat ve az miktarda da demir, alüminyum ve stronsiyum iyonlarından ileri gelmektedir. Yeraltı sularındaki bikarbonat iyonları çözülmüş karbondioksit etkisi ile oluşur.

Sertlik, çok fazla olmamak üzere içme, kullanma ve endüstri suları için zararlı değildir. Suların sertlikleri çeşitli ülkelere göre ayrı ayrı tanımlanmıştır. Türkiye'de en fazla 'fransız sertlik derecesi' kullanılmaktadır. Bir litre suda 10 mg kalsiyum ve magnezyum bikarbonat veya buna eşit miktarda diğer sertlik verici iyonların bulunması halinde o suyun sertliği 1 Fransız derecesi (1 Fr derece) olarak tanımlanır.

Hidrojen İyonu Konsantrasyonu (pH): Su içindeki hidrojen iyonu konsantrasyonunun 10 tabanına göre negatif logaritması ph değeri olarak tanımlanmaktadır. PH=7 olan sular 'nötr sular' olarak bilinir. Bu sularda H⁺ ve

OH⁻ iyonları denge halindedir. Bu tür suların asit ve alkali reaksiyonları yoktur. H⁺ iyonu konsantrasyonunun artması ile pH 7'den küçük değerler alır ve su asit karakter kazanır. OH⁻ iyonu konsantrasyonunun artması ile pH 7'den büyük değerler alır ve su bazik karakter kazanır. PH değerleri 0-14 arasında değişir. Genel olarak yeraltı suları, pH<7 olan asit özellikli sulardır. Yerüstü suları ise pH>8 olan bazik özellikte sulardır.

Sodyum İyonu Yüzdesi (% Na): Sodyum iyonu yüzdesi sulama suları için önemli olan bir iyonik özelliktir. Sodyum yüzdesi aşağıdaki bağıntıya göre saptanır.

$$\%Na = \frac{Na^+ \times 100}{Na^+ + Ca^{++} + Mg^{++} + K^+} \quad (2.1)$$

Buradaki iyon konsantrasyonları, milyonda ekivalan (epm) cinsinden verilmektedir. Sulama sularında sodyum yüzdesinin artışı topraktaki kalsiyum ve magnezyumla baz değişimini doğuracağından istenmez. Bu bakımdan sodyum iyonu, sular için bir sınıflandırma ölçütü olarak alınmıştır.

Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR): Burada da iyon konsantrasyonları (epm) cinsinden verilmektedir. Bu ampirik oran, toprağın sodyum adsorpsiyon potansiyelini değerlendirme amacı ile önerilmiştir. Na⁺ iyonu ile yer değiştiren Ca⁺⁺ ve Mg⁺⁺ iyonları arasında bir oran olduğundan (SAR), sodyum yüzdesine göre daha üstün bir ölçüt olarak göz önüne alınmaktadır.

Elektriksel İletkenlik (EC): Genel olarak bütün sular elektriği iletir. İyon konsantrasyonu ile bu iletkenlik artar. Özgül elektriksel iletkenliğin ölçüsü olarak micromho/cm kullanılır. Bu +25 °C derecedeki 1 cm³ suyun iletkenliğidir. İletkenlik bir dereceye kadar sudaki iyon konsantrasyonu ile doğru orantılıdır. Ancak bu orantı, iletkenliği 50.000 micromho/cm den fazla olan sular için geçerli değildir [4].

Çizelge 2.2'de 7.1.1991 gün ve 20748 sayılı resmi gazetede yayınlanan sulama sularının sınıflandırılmasında esas alınan sulama suyu kriterleri verilmiştir.

2.1.4.3. Suların çeşitli ölçütlere göre sınıflandırılması

Çeşitli alanlarda kullanılmak istenen yerüstü ve yeraltı suları, kimyasal analiz sonuçları göz önünde bulundurularak bazı ölçütlere göre sınıflandırılırlar. Suyun sertliği, toplam çözünmüş madde miktarı, elektriksel iletkenlik, % Na, SAR ve efektif tuzluluk bu kriterler arasında sayılabilir.

Sulama suyu kalite kriterleri	I.sınıf (çok iyi)	II.sınıf (iyi)	III.sınıf (kullanılabilir)	IV.sınıf (dikkatli kullanılmalı)	V.sınıf (zararlı)
EC ₂₅ *10 ⁶ µmhos/cm	0-250	250-750	750-2000	2000-3000	>3000
%Na	<20	20-40	40-60	60-80	>80
SAR	<10	10-18	18-26	>26	
RSC (meq/l)	<1.25	1.25-2.5	>2.5		
(mg/l)	<66	66-133	>133		
Kolorür (meq/l)	0-4	4-7	7-12	12-20	>20
(mg/l)	0-142	142-249	249-426	426-710	>710
Sülfat (meq/l)	0-4	4-7	7-12	12-20	>20
(mg/l)	0-192	192-336	336-575	575-960	>960
Toplam tuz kons. (mg/l)	0-175	175-525	525-1400	1400-2100	>2100
Bor konsantrasyonu (mg/l)	0-0.5	0.5-1.12	1.12- 2.0	2.0	-
Sulama suyu sınıfı	C1S1	C1S2, C2S2, C2S1	C1S3, C2S3, C3S3, C3S2, C3S1	C1S4, C2S4, C3S4, C4S3, C4S2, C4S1	-
NO ₃ ⁻ veya NH ₄ ⁺ (mg/l)	0-5	5-10	10-30	30-50	>50
Fekal koliform 1/100 ml	0-2	2.0-20	20-10 ²	10 ² -10 ³	>10 ³
BOİ ₅ (mg/l)	0-25	25-50	50-100	100-200	>200
Askıda katı madde (mg/l)	20	30	45	60	>100
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.0	<6 veya >9
Sıcaklık	30	30	35	40	>40

Çizelge 2.2: Sulama sularının sınıflandırılmasında esas alınan kalite kriterleri [3]

Suların sertlik derecelerine göre sınıflandırılması

Sular, Fransız sertlik derecelerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır (Çizelge 2.3).

SERTLİK DERECESESİ	SU SINIFI
0-10	Memba suyu
11-22	Yumuşak su
23-32	Sert su
33-54	Çok sert su
55<	Çok fazla sert su

Çizelge 2.3: Suların Fransız sertlik derecesine göre sınıflandırılması [4]

Çözünmüş toplam madde miktarına göre sınıflandırma

Sular çözünmüş toplam katı madde miktarına göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılır (Çizelge 2.4).

KATI MADDE MİKTARI (mgl)	SINIF
0-1.000	Tatlı su
1.000-10.000	Acı su
10.000-100.000	Tuzlu su
100.000<	Deniz suyu

Çizelge 2.4: Suların toplam katı madde miktarına göre sınıflandırılması [4]

% Na – Özgül elektriksel iletkenliğe göre sınıflandırma

Sodyum yüzdesi ve özgül elektriksel iletkenlik suları sınıflandırmada kullanılan en eski ölçütlerdir. Tabloda verilen değerler daha sonra WILCOX tarafından biraz değiştirilerek sulama suları için özel bir diyagram şekline konulmuştur (Çizelge 2.5).

EC (25°C de micromho/cm)	%Na	SINIF
<250	<20	1. Çok iyi
250-750	20-40	2. İyi
750-2000	40-60	3. Kullanılabilir
2000-3000	60-70	4. Şüpheli
3000<	80<	5. Kullanılmaz

Çizelge 2.5: Suların % Na – Özgül elektriksel iletkenliğe göre sınıflandırılması [4]

Suların SAR ve EC'ye göre sınıflandırılması

A.B.D. Salinity laboratuvarı tarafından önerilen bu sınıflandırmada sular, (SAR) ve (EC) değerleri göz önüne alınarak, tuzluluklarına göre 4, sodyum miktarlarına göre 4 olmak üzere, sulama suyu bakımından toplam 16 alt sınıfa ayrılmaktadır (Çizelge 2.6) [4].

Tuzluluğa göre alt sınıflar	C1 Az tuzlu su.
	C2 Orta tuzlulukta su.
	C3 Fazla tuzlu su.
	C4 Çok fazla tuzlu su.
Sodyum miktarına göre alt sınıflar	S1 Az sodyumlu su
	S2 Orta derecede sodyumlu su
	S3 Fazla sodyumlu su
	S4 Çok fazla sodyumlu su

Çizelge 2.6: Suların tuzluluk ve sodyum miktarlarına göre sınıflandırılması [4]

2.2. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Nedir?

Bilgi, herhangi bir öge hakkındaki tanımlayıcı bir özelliktir. Bilgiler çeşitlerine göre değerlendirilir. Bir gözlem veya işlem sonucunda ortaya çıkan

verilerin, birbirleriyle ilişkilendirilmesi ile elde edilen sonuçlara bilgi adı verilir. Veri, bilgiyi oluşturan temel ögedir.

Bilgi Sistemi, genel olarak bilgi elde etmek için, verileri önceden belirlenmiş biçimlerde anlık yöntemlerle kullanılmak üzere saklayan bir sistemdir.

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), coğrafi konuma dayalı gözlemlerle elde edilen, grafik veya grafik olmayan bilgilerin toplanması, saklanması, işlenmesi ve kullanıcıya sunulması; analizlerle yeni üretimlerin yapılması işlevlerini bir bütünlük içerisinde gerçekleştiren bir bilgi sistemidir. Planlama ve yönetimdeki uzmanların karar verme yeteneklerini artırır ve daha ekonomik, az zaman ve eleman kullanılmasını sağlar. CBS veriye bağımlı veri tabanlı bilgi sistemidir. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin etkili olabilmesi için, CBS verileri ve haritaları güncel bilgileri içermelidir [6].

2.2.1. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanım Alanları

- Kent Bilgi Sistemleri
- Arazi kullanım planlamaları
- Çevre Uygulamaları
- Askeri Uygulamalar
- Turizm Uygulamaları
- Hidrolojik Uygulamalar
- Mühendislik Uygulamaları
- Orman Geliştirme Planlama
- Pazarlamacılık Uygulamaları
- Telekomünikasyon Uygulamaları

2.2.2. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Temel Bileşenleri

Coğrafi Bilgi Sistemi 5 temel bileşenden oluşmaktadır;

a) Bilgi sisteminde kullanılan çeşitli formatlarda ve özellikteki **veriler**

b) Bilgilerin girileceği, analiz edileceği ve yazılımın kullanılacağı bir

donanım

c) Bilgilerin analiz edileceği ve diğer işlemlerin yapılacağı bir CBS özellikli **yazılım**

d) Karar verme ve sistemi kullanacak uzman **insan kaynağı**

e) Kullanıcı ya da karar vericinin CBS uygulamalarında aşamalarını gerçekleştireceği bir **yöntem**.

2.2.3. Coğrafi Bilgi Sisteminde Değerlendirilen Veri Şekilleri

CBS’de veriler 3 temel şekilde analiz edilir.

Çizgisel veriler: Vektör veri olarak da bilinen bu veri çeşidi, coğrafi bilgi sistemi içerisinde en çok kullanılan veridir. Alana ait, nokta (kuyu, elektrik direği, vb.) ya da çizgi özellikleri (yol, ırmak, vb.) veriler ile poligon özellikli (parsel, göl, vb.) tüm bilgiler çizgisel veri sınıfında yer alırlar.

Raster veriler: Piksellerden oluşan görüntü özellikli verilerdir. Uydu görüntüsü, hava fotoğrafı ya da kamera ile alınmış diğer görüntülerin oluşturduğu sayısal verilerdir.

Metin (text) veriler: Özellikle çizgisel verilerin öznitelik bilgilerini, karakter ya da nümerik olarak tanımlamalarını içerir.

2.2.4. Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanılacak Bir Projenin Aşamaları

Coğrafi bilgi sistemi kullanılacak projeler, oluşturulma aşamalarında çok iyi düşünülmelidir. Verilerin seçimi, sınıflandırılmaları, ortak ölçek, yöntem belirlenmesi ve verilerin birbirleri ile ilişkilendirilmeleri, konu ile ilgili uzmanlar tarafından belirlenmelidir. Aşamaların uygulanmasında, coğrafi bilgi sisteminin sadece bir araç olduğu unutulmamalıdır. Karar vericiye destek sağlanmasına yönelik bir çalışmada, uygulama konularına ait uzmanların bulunması gerekmektedir. Coğrafi bilgi sistemi kullanılacak projeler genelde 4 temel aşama izlenerek tamamlanır.

1. Veri toplama
 - a) Arazi çalışmaları
 - b) Kurumlardan ya da kişilerden var olan sayısal verilerin sağlanması
 - c) Uzaktan algılama tekniği ile veri üretilmesi
 - d) Arşiv bilgileri; rapor ve haritalar

2. Verilerin girişi ve derlenmesi; Verilerin format farklılıkları ve konu çeşitliliği dikkate alınır en çok zaman alan aşamayı oluşturur. Verilerin gruplandırılmaları, bilgisayar ortamına sayısallaştırıcı ya da tarayıcı kullanılarak girilmesi, metin verilerin saklı bulunduğu ortamlarla ilişkilendirilmesi (link) vb. çalışmalar bu aşamada gerçekleştirilir.

3. Veri işleme; Girilen verilerin çeşidine göre ortak format belirlenir ve uymayan verilerin dönüşümleri yapılır. Geometrik düzeltmeleri yapılır ve tüm mekansal veriler ortak bir ölçek ve koordinat sistemine getirilir.

4. Veri temizliği; Var olan verilerden yararlanılmak istendiğinde sadece istenilen veriler değil bununla birlikte gereksiz, veri tabanını kalabalıklaştıracak pek çok veriye de ulaşılmış olur.
 - a) Veri ilişkilendirmesi; Coğrafi bilgi sistemi kullanılmasının en önemli aşamalarından olup, uzman kişilerin karar vereceği bir konudur. Buna bağlı olarak gruplandırılmış veriler birbirleri ile ilişkilendirilir.
 - b) Yeni üretim / sorgulama (query); Oluşturulan veri tabanı kullanılarak bazı veriler ilişkilendirilir ve karşılaştırma ya da veri birleştirme işlemleri yapılarak yeni üretimler oluşturulur.

Yapılan çalışmalar sonucunda üretilen yeni bilgiler değişik şekillerde (haritalar, fotoğraflar, raporlar) kullanıcılara sunulur [6].

3. YÖNTEM

3.1. Tez Kapsamında Yapılan Çalışmalar

Bu çalışma kapsamında DSİ III. Bölge Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı suları Şube Müdürlüğü'nden elde edilen bölgeye ait 1/25.000'lik topoğrafik haritalar Microstation SE programı kullanılarak rektifiye edilmiştir. Haritalar üzerindeki

- karayolları,
- trenyolu,
- dereler,
- kanallar,
- eş yükseklik eğrileri

sayısallaştırılmıştır. Bu programda yapılan çizimler Geomedia Professional 5.0 programına import edilmiş; bölgeye ait sayısallaştırılmış jeoloji haritası, oluşturulan sayısal haritaya eklenmiştir.

Çalışma alanındaki yerleşim yerleri nokta olarak haritaya işlenmiştir. Bölgede kurulmuş olan sulama kooperatiflerinin sınırları çizilmiştir. Koordinatları eksik olan kuyuların yerleri arazi çalışması kapsamında GPS ile ölçülerek belirlenmiş ve DSİ III. Bölge Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı suları Şube Müdürlüğü'nde dosyalar şeklinde saklanan tüm kuyulara ait veriler Access veri tabanına girilmiştir. Daha sonra Geomedia programı kullanılarak, oluşturulan sayısal harita ve kuyulara ait veri tabanı bilgileri birbirine bağlanmıştır.

Çalışmada bölgede açılmış olan D.S.İ.'YE ait 1954-2004 yılları arasında açılmış toplam 221 adet sondaj kuyusuna ait veriler ile 2007 yılında aylık olarak ölçümü yapılan 72 adet kuyuya ait statik seviye ölçüm değerleri ve 13 kuyuya ait 2007 yılı mayıs ve eylül ayarına ait yeraltı suyu kimyasal analiz değerleri kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında sondaj kuyularına ait Çizelge 2.7'de belirtilen genel özelliklerin yanı sıra Çizelge 2.8'de belirtilen kimyasal özellikler de öznelik değerleri olarak veri tabanına girilmiştir.

1	Kuyu no	9	Derinlik
2	Açan kuruluş	10	Statik seviye
3	İl	11	Dinamik seviye
4	İlçe	12	Verim
5	Kuyu yeri	13	Litoloji
6	Kot	14	Kuyu çapı
7	Açılış amacı	15	Teçhiz durumu
8	Açıldığı yıl		

Çizelge 2.7: Sondaj kuyularına ait veri tabanına girilen genel özellikler

1	pH	12	%Na
2	EC	13	SAR
3	Na	14	Suyun Sınıfı
4	K	15	Sertlik
5	Ca	16	Toplam tuz
6	Mg	17	Amonyak
7	CO ₃	18	Nitrit
8	HCO ₃	19	Nitrat
9	Cl	20	Florür
10	NO ₃	21	Bor
11	SO ₄	22	Organik madde miktarı

Çizelge 2.8: Sondaj kuyularına ait veri tabanına girilen kimyasal özellikler

Kuyuların bir kısmı çok eski olması dolayısı ile tüm bilgileri bulunmamakla birlikte, mevcut bilgileri veri tabanına girilerek değerlendirmeye katılmışlardır.

Surfer 8.0 programı kullanılarak ovaya ait eş su tablası, verim, özgül verim, sertlik, Cl, SO₄, EC, NO₃, %Na eğrileri oluşturulmuş ve bu haritalar Geomedia Profesional 5.0 programına import edilerek burada oluşturulan jeoloji haritası ve kuyu kesitleri ile karşılaştırılıp litoloji ile ilişkileri yorumlanmaya çalışılmıştır. Su kimyası ve su tablası haritaları oluşturulurken sonucun daha sağlıklı olması amacıyla sadece 2007 yılında eş zamanlı alınan ölçümler

kullanılmıştır. Numune alınan kuyu sayısının az olması ve ovanın tamamında değer olmaması nedeniyle oluşturulan haritalar çalışma alanının tamamı için çizilememiştir. Verim ve özgül verim haritaları oluşturulurken ise ovadaki tüm kuyuların değerleri kullanılmıştır. Ancak kuyularda yapılan en son pompa tecrübesine ait veriler kullanılmıştır.

Oluşturulan haritalar yorumlanarak ovanın yeraltı suyu bakımından verimli bölgeleri, yeraltı suyu hareket yönü, hangi bölgede ne kalitede yeraltı suyu alınabileceğine dair yorumlar yapılmaya çalışılmıştır.

Ayrıca klasik yöntem kullanılarak ve Cl yöntemi ile ayrı ayrı ovanın yeraltı suyu bilançosu hesaplanmıştır. Klasik yöntemde 2007 yılı Eylül ayına ait Porsuk çayı üzerinde ovaya giriş ve ovadaki çıkışta ölçüm yapılan iki nokta kullanılmıştır. Bu noktalar girişte Ağapınar köyü, çıkışta ise Süleymaniye köyü olarak belirlenmiştir. Eylül ayında yan derelerin suları Porsuk çayına ulaşmadığı için bilanço hesabında kullanılmamıştır.

3.2. Önceki Çalışmalar

3.2.1. Eskişehir-Alpu ovası hidrojeolojik etüt raporu

Bu çalışma DSİ tarafından ovanın yeraltı suyu potansiyelinin tespiti, hangi derinlikte, ne miktarda ve kalitede yeraltı suyu alınabileceğini araştırmak amacıyla 1973-1974 yıllarında yapılmıştır.

Bu çalışma artık güncelliğini yitirmiştir. Çalışma yapıldığı yıllarda ovada 38 adet DSİ'ye ait su sondaj kuyusu varken, günümüzde bu sayı yaklaşık 250'yi bulmuştur. Bunun yanında çok sayıda da şahıs kuyusu açılmıştır.

Etüt raporunda, ovada yalnızca alüvyon birimin akifer özelliği taşıdığından bahsedilmektedir. Ancak daha sonra yapılan sondaj çalışmaları Neojen birimlerin de akifer özelliği taşıdığını göstermiştir.

3.2.2. Eskişehir-Alpu ovası batısının yeraltı suyu sondaj verilerinin (CBS) kullanılarak yorumlanması

Çalışma ovanın batı kısmında açılmış olan DSİ ye ait 42 adet su sondaj kuyusu verisinin bilgisayar ortamında ve buna uygun CBS yazılımları kullanılarak yorumlanması amacıyla yapılmıştır. Yapılan sorgulamalar sonucunda ovanın batısının yeraltı suyu durumu hakkında sonuçlara ulaşılmış ve su kalitesi sınıflamaları yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmanın tüm ova bazında yapılması da önerilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. Yeraltı Suyu Verimi ve Akım Yönü

Ovada akifer özelliği gösteren birimler en genç birim olan Kuvaterner yaşlı alüvyon ve bunun altındaki Neojen birimlerdir. Ovada kuyunun açılacağı yere göre ortalama 150-200 m lik kuyular açılabilir. Taban kayacı olan şist ya da ofiyolite ulaşıldığında kuyu bitirilmelidir.

Verimi 30 lt/s ve üzerinde olan bölgeler, ovanın orta kesimlerinde Alpu ilçesi civarı ile ovanın kuzeybatı kısımlarıdır. Ovanın kuzeybatısı en geniş drenaj alanına sahip bölgedir. Ovanın bu bölümleri doğusuna göre yeraltı suyu bakımından daha zengin görünmektedir. Bu bölgelerde alüvyon birim doğuya oranla daha kalındır. Yer yer 40 m kalınlığa ulaşmaktadır. Alüvyonun altında ise ikinci akiferimiz olan Neojen birimler mevcuttur. Neojen marnlar ovanın orta ve batı kesimlerinde yer yer kireçtaşı mercekleri bulundurlar. Ovanın doğu bölgelerinde ise bu merceklere daha az rastlanır. Marnların altındaki, kil çimentolu Neojen konglomera biriminin de içerdiği tane boyu batıdan doğuya doğru küçülmektedir. Tüm bu veriler ovanın doğu kısımlarından batısı kadar verim alınamayacağını göstermektedir.

Ovanın özgül verim haritası oluşturulduğunda en verimsiz bölgelerin ovanın doğusunda Akgüney-Sultaniye-Aşağı İğdebağacı köyleri çevresi ile güneyde Aktepe-Uyuzhamam köyleri çevresi olduğu gözlenmektedir. Bu bölgelerde sondaj kuyusundan 10 lt/s su çekildiğinde su seviyesi en az 20 m düşecektir. Ancak bu bölgelerde az miktarda ölçüm olması ve bölgedeki kuyuların seviye ölçümlerinin bulunmaması haritanın doğruluk payını düşürmektedir. Bu bölgelerde daha fazla ölçüm yapılarak daha iyi sonuç elde edilebilir. Özgül verimin yüksek olduğu bölgelerin ovanın kuzeybatısında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu bölge ovanın en geniş drenaj alanından beslenmektedir (bkz. Ek 4). Ovadaki kuyuların dağılımına bakıldığında da bu bilgileri destekler nitelikte olduğu görülmektedir. Doğu bölgelerde sulama amaçlı derin kuyular çok azdır. Genellikle araştırma ve içme suyu kuyuları bulunmaktadır. Bu kuyuların

verimi de oldukça düşüktür. Batıda ise çok sayıda sulama kooperatifi mevcuttur (bkz. Ek 5).

2007 Nisan ve Ekim ayı değerlerine göre oluşturulan su tablası haritalarında yeraltı suyu akım yönleri tespit edilmiştir. Buna göre drenaj alanının kenarlarından Porsuk çayına doğru bir hareket olduğu gözlenmektedir. Alpu ilçesinde ve Süleymaniye köyünün yaklaşık 12 km kuzeydoğusunda, saha dışında kalan Yunusemre beldesinde Porsuk çayından 2007 yılı Şubat ve Mayıs aylarında alınan su numuneleri üzerinde yapılan analizler sonucu Yunusemre beldesinde alınan numunelerin Cl değerlerinin Şubat ayında 65,2 meq/l ,Mayıs ayında 70,3 meq/l ; Alpu ilçesinde Şubat ayında 78 meq/l, Mayıs ayında 96,8 meq/l olduğu tespit edilmiştir. Yani Yunusemre’de ölçülen değerlerin daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durum da Porsuk çayına doğru yanal bir beslenme olduğunu göstermektedir (bkz. Ek 6,7).

4.2. Su Kimyası

Ovada klor değerlerinin güneydoğu kısımlarda yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu bölgede yeraltı suyu akış yönü kuzeyden güneye doğrudur. Ovanın doğusundaki jips kristalleri içeren marnları kat eden yeraltı suyunun bu bölgede biriktiği ve bu nedenle buradaki sularda Cl değerinin yüksek olduğu düşünülmektedir. Ovanın batı kısımları ise kuzeydeki ofiyolitik melanj biriminden beslendiği için Cl değeri düşüktür. Ayrıca bilindiği gibi yeraltı suyu içindeki klor yüzdesi daha az klor içeren bir su ile karışmadıkça düşmez. Yani suyun hareket yönü daima klorun yüksek olduğu yere doğudur. Bu özellik kullanılarak belirlenen yeraltı suyu akım yönü tespit edilmiştir. Ovanın güney ve batı kısımlarında çok fazla değer olmadığı için akım yönleri su tablası haritasında tespit edilenlerle bire bir örtüşmemesine rağmen; değer olan bölgelerde akış yönünün yine Porsuk çayına doğru olduğu görülmektedir (bkz. Ek 8).

Ovada sülfat değerinin dağılımının klor ile benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. Fazla sülfatın nedeninin de yine ovanın doğusundaki jips kristalleri içeren marnlar olduğu düşünülmektedir (bkz. Ek 9).

2007 yılı mayıs ayı ve eylül ayı sülfat ve klor değerlerine bakıldığında mayıs ayındaki değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Normalin aksine olan bu durumun Mayıs ayında Porsuk çayına yakın olan tarım arazilerinin sulamasının Porsuk çayının yüksek klor ve sülfat içeren suyu ile yapılması ve bu suyun da yeraltı suyuna karışıp Mayıs ayı sülfat ve klor değerlerini yükseltmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (bkz. Ek 10,11).

Ovaya ait eş Elektriksel Kondüktivite haritasına bakıldığında 1000 micromho/cm den yüksek değere sahip bölgenin de ovanın güneydoğusu olduğu görülmektedir. Bu değerler her ne kadar sulama suyu için kabul edilebilir değer ise de aşırı su çekimlerinde ve kurak dönemlerde daha yüksek değerlere ulaşabilir (bkz. Ek 12).

Sertlik haritasına bakıldığında kullanılan verilere göre ovadaki yeraltı suyunun genel olarak sert ve çok sert su sınıfında olduğu görülmektedir. Sertlik değerinin en yüksek olduğu bölge ise Alpu ilçesi çevresidir (bkz. Ek 13).

%Na değerlerine bakıldığında da ovanın batı ve orta kesimlerinde sodyum oranının düşük olduğu, güneydoğu bölgelere doğru ise sodyum oranının arttığı ve bu bölgelerde su kalitesinin 3. sınıf sulama suyu özelliğinde olduğu görülmektedir (bkz. Ek 14).

Bütün yapılan kimyasal analiz sonuçları ovanın güneydoğu bölgesinde su kalitesinin düşük olduğunu göstermektedir. Bu nedenle bu bölgede yapılabilecek muhtemel bir sondaj çalışması ve kooperatif kurma faaliyetlerinde bu olumsuz durumun göz önünde bulundurulması gerekir. Ovanın özellikle kuzeydoğu bölgelerinde ise su kalitesi açısından genel olarak sakıncalı bir durum görünmemektedir. Ancak özellikle Neojen marn biriminin kesildiği kuyularda aşırı su çekimi veya kurak geçen dönemlerde su kalitesinde bozulmalar gözlenebilir.

Nitrat ise dış kaynaklı bir kirlenmedir. Yeraltı suyunda 5-10 mg/l nin üzerinde nitrat olması suyun dışarıdan kirletildiğini gösterir. Bu kirlilik tarım alanlarının aşırı gübrenmesi sonucu veya yerleşim yerlerine yakın kuyularda insanların atıklarından kaynaklanmaktadır. Ovada özellikle Esence, Sultaniye, Gökçeayva köyleri ve çevresinde gübreleme işlemlerinin dikkatli yapılması

gerekmektedir. Bunun yanında, açılan kuyuların ilk 10-20 m lik kısmına kapalı teçhiz borusu inilmesi bu sorunu çözmeye yardımcı olacaktır (bkz. Ek 15).

Oluşturulan bütün haritalardan elde edilen bilgiler bir araya getirildiğinde ovanın verim ve su kalitesi dağılımına göre kuyu açılmaya uygun bölgeler ve uygun olmayan bölgeler belirlenmiştir. Ovada 30 lt/s nin üzerinde verim alınan ve özgül verimi 1lt/s/m nin üzerinde olan ortak bölgeler yeraltı suyu açısından verimli bölgeler olarak tespit edilmiştir. Verimi 10 lt/s nin altında, özgül verimi ise 0,5 lt/s/m nin altında olan bölgeler de verimin düşük olduğu bölgeler olarak belirlenmiştir. Bunun yanında, her ne kadar kimyasal analiz sonuçlarına göre sulamada kullanılabilir sınırlar içerisinde olsa da, çevresine göre daha kirli olan; muhtemel kuraklık ve aşırı bir çekimde kirliliğin yükselebileceği bölgeler de belirlenmiştir. Bu bölgelerde kuyu açılması düşünüldüğünde bu kirlilik göz önünde bulundurulmalı ve tahsisler bu şartlara uygun olarak verilmelidir (bkz. Ek 16).

4.3. Bilanço Hesabı

4.3.1. Klasik yöntem ile bilanço hesabı

Beslenim:

Yağıştan süzülme:

R_p : Yağıştan süzülme miktarı

P_{fazla} : Fazla su

A: Alan

S: Süzülme yüzdesi

$$R_p = A \times S \times P_{fazla} \quad (4.1)$$

Fazla su = 0,052 m Penman yeraltısuyu bilanço çizelgesinden hesaplanmıştır. (Çizelge 4.1)

Neojen birimler = 815 km²

Süzülme yüzdesi = %15 [1]

$$815.10^6 \times 0,15 \times 0,052 \cong 6,4 \text{ hm}^3/\text{yıl}$$

$$\text{Alüvyon} = 640 \text{ km}^2$$

$$\text{Süzülme yüzdesi} = \%80 [1]$$

$$640.10^6 \times 0,80 \times 0,052 = 26,6 \text{ hm}^3/\text{yıl}$$

$$R_{\text{toplam}} = 33 \text{ hm}^3/\text{yıl}$$

PENMAN YERALTI SUYU BİLANÇO ÇİZELGESİ													
	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	YILLIK TOPLAM
AYLIK ORTALAMA SICAKLIK °C	17,5	11,9	5,6	1,7	-0,5	0,9	5,2	10,7	15,1	19,2	22,3	21,9	11
SICAKLIK İNDİSİ (j)	6,664	3,716	1,187	0,195	0,031	0,075	1,061	3,164	5,33	7,668	9,618	9,358	48,067
POT.BUHAR.-TER. (E _t -mm)	80,4	49,7	19,3	4,4	0	1,97	17,65	43,5	66,9	90,3	108,9	106,5	589,52
ENLEM DÜZELTME KATSAYISI	1,04	0,96	0,84	0,82	0,85	0,84	1,03	1,11	1,23	1,24	1,26	1,18	39° ENLEMINE GÖRE
DÜZELTİLMİŞ BUH.-TER. (E _t -mm)	83,61	47,71	16,2	3,61	0	1,65	18,18	48,28	82,29	111,97	137,21	125,67	676,38
YAĞIŞ (P-mm)	11,4	41,7	41,3	54,5	31,7	31,6	32,5	47,4	48,1	23,5	11,9	15,2	388,8
FAYDALI SU YEDEĞİ (mm)	0	0	25,1	76	100	100	100	99,12	82,92	0	0	0	
GERÇEK BUH.-TER. (E _t -mm)	11,4	41,7	16,2	3,6	0	1,65	18,18	48,28	82,3	86,42	11,9	15,2	336,83
SU FAZLASI-SELLENME (mm)	0	0	0	0	7,7	29,95	14,32	0	0	0	0	0	51,97
SU HOKSANI (mm)	72,2	6,01	0	0	0	0	0	0	0	0	125,31	110,47	313,99
$E_p = 1,6 \left(\frac{10t}{J} \right)^2 \quad I = \sum i$ $i = \left(\frac{t}{3} \right)^{1,514} \quad a = 6,75.10^{-7} \times J^2 - 7,71.10^{-7} \times J^2 + 1,79.10^{-7} \times J + 0,492$ <p>t = Aylık sıcaklık ortalaması E_p = Aylık potansiyel evapotranspirasyon miktarı</p>													

Çizelge 4.1: Penman yeraltısuyu bilanço çizelgesi ve çizelge hazırlanırken kullanılan formüller

Yüzeysel akıştan süzülme

R_y: Yüzeysel akıştan süzülme miktarı

A: Yüzeysel akışın meydana geldiği alan

$$A = A_{\text{drenaj}} - A_{\text{ova}}$$

$$A = 2120 - 640 = 1480 \text{ km}^2$$

Süzülme yüzdesi = %15 [1]

Akışa geçen yağış miktarı:

Ağaçhisar yağış ist. = 664,4 mm [1]

Alpu yağış ist. = 388,8 mm [7]

Ortalama yağış = 526,6 mm

Alpu ort. sıcaklık = 11,0 °C [7]

Ova alanının ortalama kotu yaklaşık 770 m, drenaj alanının ortalama kotu 1200 m dir. Bu nedenle iki yağış istasyonunun ortalaması alınmıştır.

430 m kot farkından dolayı, yükseklikle sıcaklık her 100 m’de 0,5 °C azaldığı için 2,15 °C lik sıcaklık azalması olacaktır. Bu nedenle sıcaklık (T) 8,45 °C alınmıştır.

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3 = 541,4 \quad (4.2)$$

$$E_{Tp} = \frac{P}{0,9 + \left(\frac{P^2}{L^2}\right)} = 387,6 \text{ mm} \quad (4.3)$$

$$P_{akan} = 526,6 - 387,6 = 139 \text{ mm}$$

$$R_y = A \times S \times P_{akan} \quad (4.4)$$

$$1480.10^6 \times 0,15 \times 0,139 \cong 31 \text{ hm}^3/\text{yıl}$$

Sulama suyundan süzülme

Porsuktan ovaya verilen su = 60 hm³

Kuyu çekimleri = 41 hm³ [8]

Süzülme yüzdesi = %25 [1]

$$101 \times 0,25 = 23,75 \text{ hm}^3$$

Boşalım

Porsuk çayına boşalım (2007 yılı Eylül ayı için)

Havzaya giren su = 2,851 m³/s (Ağapınar) [8]

(Eylül ayında, ovadaki yan derelerin suyu Porsuk çayına ulaşmamaktadır.)

Havzadan çıkan su = 4,563 m³/s (Süleymaniye) [7]

$$(4,563 - 2,851) \times 31,5 \cdot 10^6 = 54 \text{ hm}^3$$

Suni boşalım

Kooperatif ve şahıs kuyularından yıllık çekim miktarı = 41 hm³ [8]

BESLENİM* 10 ⁶ m ³ /yıl	BOŞALIM* 10 ⁶ m ³ /yıl
a- Yağıştan süzülme Neojen birimler + alüvyon 33	a- Porsuk çayına boşalım 54
b- Yüzeysel akıştan süzülme 31	b- Suni boşalım (kooperatif çekimleri, belgeli kuyular) 41
c- Sulama suyundan süzülme 25,55	
TOPLAM 89,25	95

Çizelge 4.2: Eskişehir-Alpu ovası yeraltı suyu bilançosu

Bilanço hesabında 2007 yılı Eylül ayı değerleri kullanılmıştır. Boşalımın beslenimden fazla olmasının sebebi Eylül ayında ovada sulamanın devam etmesi ve sulamadan dönen fazla suyun bir kısmının kanallar vasıtası ile Porsuk çayına katılmasıdır.

4.3.2. Cl yöntemi ile bilanço hesabı

$Cl_p = \text{Yağıştaki klor} = 0,08 \text{ meq/l [9]}$

$Cl_{gw} = \text{Boşalım sahasındaki klor} = 0,67 \text{ meq/l}$

Ovanın güneydoğusunda litolojiden kaynaklanan normalin üzerinde klor kirlenmesi olduğu için boşalım sahasına yakın en uygun sondaj kuyusundan numune alınmıştır (EK-6).

Ortalama yağış (P) = 388,8 mm

Drenaj alanı (A) = 2120 km²

$$R = \frac{Cl_p}{Cl_{gw}} \times A \times P \quad (4.5)$$

$$R = \frac{0,08}{0,67} \times 2120 \cdot 10^6 \times 0,3888 = 98,4 \text{ hm}^3/\text{yıl}$$

Görüldüğü gibi her iki yöntem ile elde edilen yeraltı suyu bilançosu arasında %10 dan daha az bir fark olup, klorürün korunan bir iyon olduğu dikkate alındığında Cl yönteminin daha güvenilir bir yöntem olduğu söylenebilir.

Halihazırda Alpu Ovasından çekilen su miktarının 41 hm³/yıl olduğu bilinmektedir. Ovada muhtemel kaçak kuyuların da olduğu dikkate alınıp ek olarak %10 luk bir güvenlik payı da eklendiğinde 98,4 hm³/yıl rezervin %60'ı olan 59 hm³/yıl yeraltı suyu emniyetli rezervimizi oluşturur.

Ovada limnigraf takılı olan ve 1995-2007 yılları arasında küçük kesintilere uğrayarak statik seviye ölçümleri yapılan Esence köyü 7553 nolu DSİ sondaj kuyusunun seviye değişimleri incelendiğinde seviyelerin yağışlara bağlı olarak 3,5 m-6,0 m arasında değiştiği görülmektedir. Bu da akiferin çekimlerden sonra yağışlarla beslenerek tekrar kendini yenilediğini göstermektedir (bkz. Ek 17).

Akifer kendini yenileyebildiği için şu anda fiili olarak yapılan 41 hm³/yıl olan çekimlere ek olarak 18 hm³/yıl bir rezerv daha kullanılabilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Ovada akifer özelliği taşıyan birimlerin Kuvaterner yaşlı alüvyon ve Neojen yaşlı kireçtaşı, tüfit bantlı-kireçtaşı mercekli marnlar ile konglomera çökelleri olduğu belirlenmiştir.
- Ovada açılacak kuyuların derinliği 150- 200 m'ye kadar ulaşabilir. Ovada taban kayacı olan Paleozoyik yaşlı şistlere ulaşıldığında kuyu delme işlemi bitirilmelidir.
- Ovanın en verimli bölgesi, ovanın en geniş drenaj alanı tarafından beslenen ve kalın alüvyon alanların bulunduğu kuzeybatı kesimleri; en verimsiz bölgeleri ise ince taneli malzemedan oluşan kumtaşı-konglomera birimi ve marnların bulunduğu, alüvyon kalınlığının ise batıya göre daha az olduğu doğu bölgeleridir.
- Ovada yeraltı suyu tablası haritası ve eş Cl haritasına göre yeraltı suyu Porsuk çayını beslemektedir. Yunusemre beldesinde Porsuk çayından alınan numunedeki Cl değerinin Alpu ilçesinde alınan değerden daha düşük olması da Porsuk çayına doğru bir yanal beslenme olduğunu göstermektedir.
- Ovanın doğusundaki jips kristalleri içeren marnlar ve kil çimentolu konglomeraları kateden su ovanın güneydoğusuna doğru hareket eder. Bu nedenle bu bölgede yeraltı suyu kalitesi düşüktür. Batı kesimlerde ise kuzeydeki ofiyolitik melanjdan beslenen yeraltı suyu kalitesi yüksektir.
- Mayıs aylarında Cl ve SO₄ değerlerinin Eylül ayındaki değerlerden yüksek olmasının sebebi, yüksek Cl ve SO₄ içeren Porsuk çayından sulama amaçlı çekilen suların yeraltı suyuna karışmasıdır.
- 2007 yılı Eylül ayı akım değerleri kullanılarak klasik yöntemle yapılan hesaba göre ovaya giren su miktarı yıllık 87,75 hm³, ovadan çıkan su 89 hm³ olarak belirlenmiştir.
- Beslenme ve boşalım alanlarındaki Cl değerlerinin birbirine oranına göre yapılan hesapta ovanın yeraltı suyu rezervi 98,4 hm³/yıl bulunmuştur.

- Ovadan çekilebilecek emniyetli rezerv 59 hm³/yıl olarak hesaplanmıştır. Mevcut kullanımların yanında 18 hm³/yıl rezerv daha kullanılabilir durumdadır.
- Gerek kimyasal analizler ve gerekse bilanço hesabından elde edilen sonuçların daha sağlıklı yapılabilmesi için daha fazla sayıda veriye ihtiyaç vardır. Bu nedenle daha geniş bir gözlem ağı oluşturulmalı, ölçümler eş zamanlı ve derinlik açısından birbirine yakın kuyularda yapılmalıdır.
- Porsuk çayı ile yeraltı suyunun beslenme ilişkisini daha net ortaya koymak için Porsuk çayı çevresinde alınan seviye ölçümlerinin sayısı artırılmalı, kuyuların kotları mümkün olduğunca hassas belirlenmelidir.
- Rezerv hesapları yapılırken ise özellikle süzülme oranları net tespit edilmeli mümkünse her birime süzülme ölçen aletler yerleştirilmelidir. Alınan ölçümler sürekli olmalı ve elde edilen rakamlar kullanılarak çalışmalar sürekli revize edilmelidir.
- Ayrıca bölgeye ait mevcut yeraltı jeolojisi bilgilerini güncellemeye yönelik çalışmalar yapılmalı; gerektiğinde açılan sondajlardan karot numune alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Biçer, A. ve ark., *Eskişehir- Alpu Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu*, DSİ Teknoloji Dairesi Başkanlığı Basım ve Foto-Film Şube Müdürlüğü, Ankara, 1977.
- [2] Gözler, Z. ve ark., *Orta Sakarya ve Güneyinin Jeolojisi*, MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No: 9973, Ankara, 1997.
- [3] Kırmızıtaş, H., *Yeraltısuyu Arama Faaliyetleri*, DSİ Teknoloji Dairesi Başkanlığı Basım ve Foto-Film Şube Müdürlüğü, Ankara, 1999.
- [4] Erguvanlı, K. ve Yüzer, E., *Yeraltısuları Jeolojisi*, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul, 1984.
- [5] Doğan, L., *Su Kimyası Çalışmalarında Değerlendirme Yöntemleri*, Hidrojeoloji Semineri 3. cilt, DSİ Teknoloji Dairesi Başkanlığı Basım ve Foto-Film Şube Müdürlüğü, Ankara, 1979.
- [6] Altınbaş, Ü. ve ark., *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemi Uygulamalı Temel Kursu Ders Notları*, Ege Üniversitesi, İzmir, 2003.
- [7] Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, EBİM Daire Başkanlığı.
- [8] DSİ III. Bölge Müdürlüğü ölçümleri.
- [9] Postma, A., *Geochemistry Groundwater and Pollution*, Amsterdam, sf. 2, 1992.

ESKİŞEHİR-ALPU OVASI JEOLojİ HARİTASI

EK-1

AÇIKLAMALAR

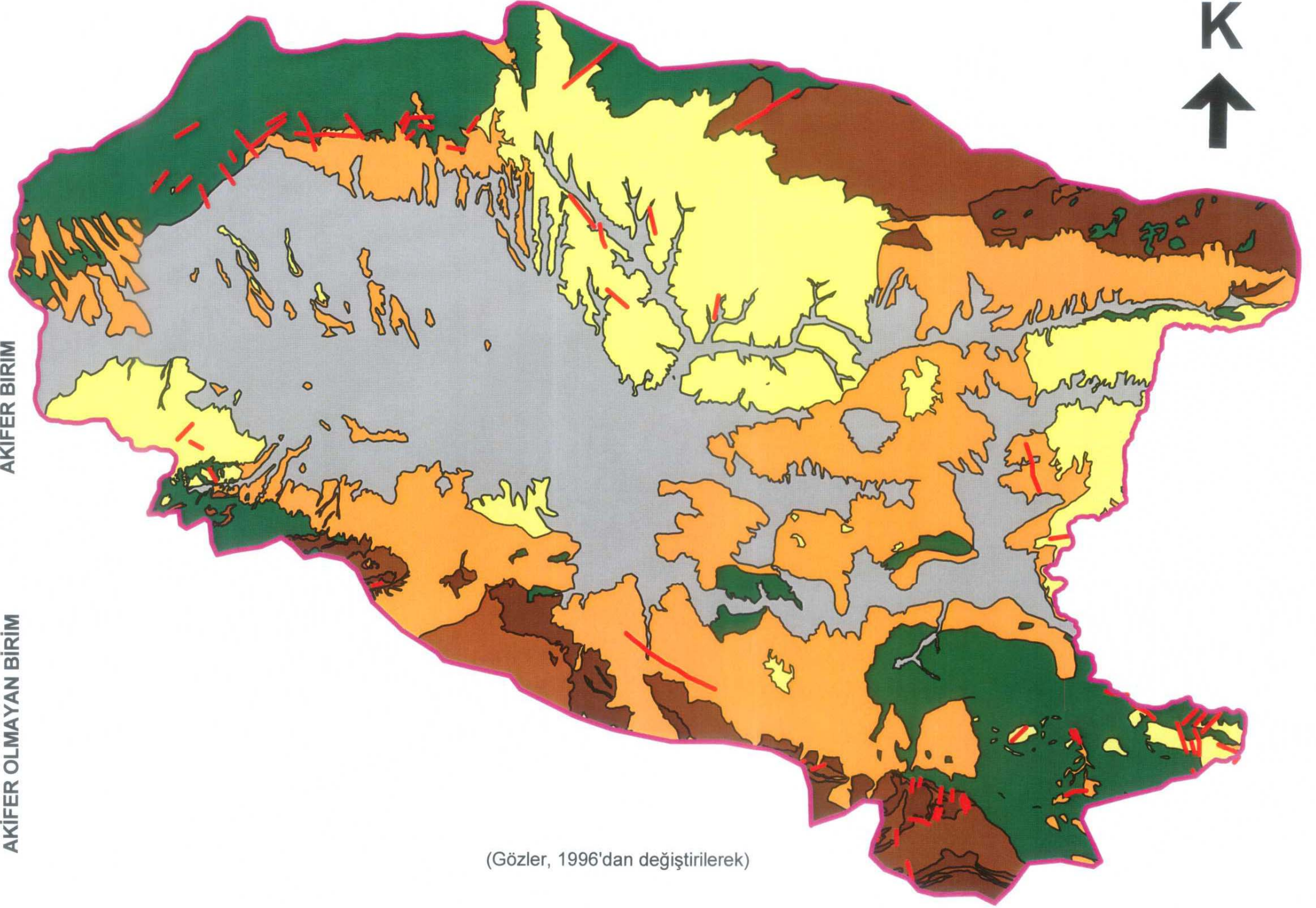
- Çalışma alanı
Faylar

LİTOLOJİ

SENOZOYİK		KUVATERNER	
		Alüvyon	
	NEOJEN	Kireçtaşı-killi kireçtaşı-tüftüfit	
		Konglomera-kumtaşı	
	EOSEN	Granodiyorit	
MESOZOYİK			
		Ofiyolitik melanj	
		Mermer	
		Şist	

AKİFER BİRİM

AKİFER OLMAYAN BİRİM

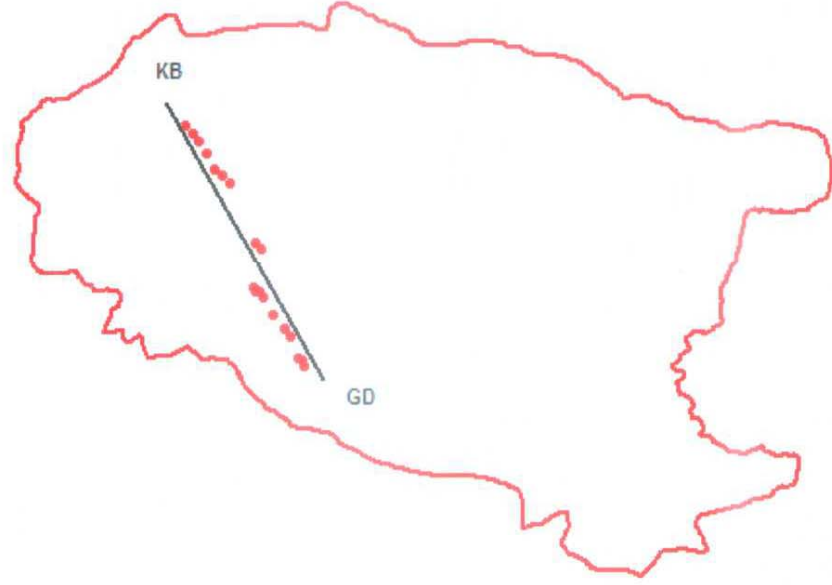


(Gözler, 1996'dan değiştirilerek)



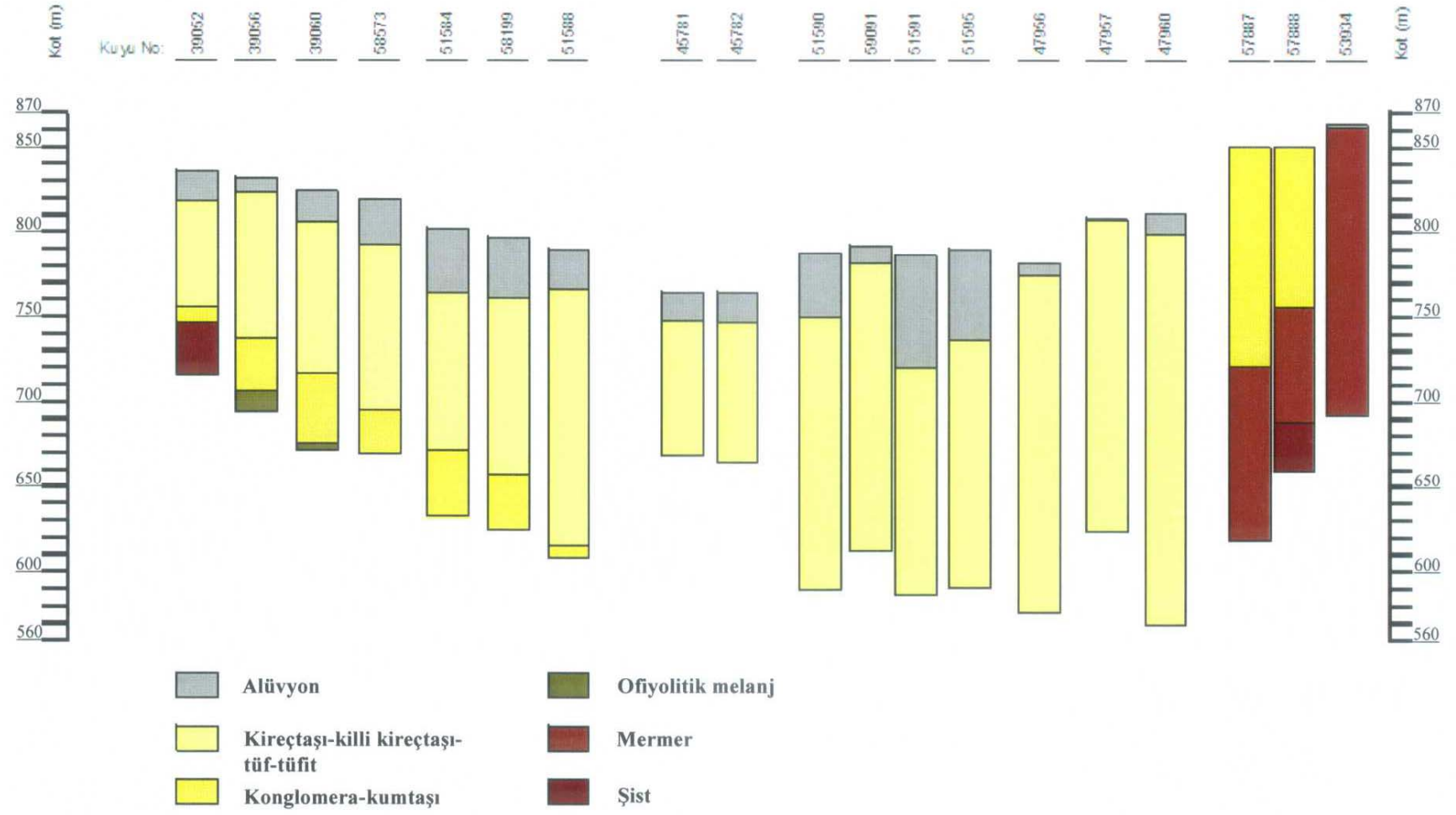
ALPU OVASI KB-GD YÖNÜNDE ALINMIŞ JEOLojİK KESİT

EK-2

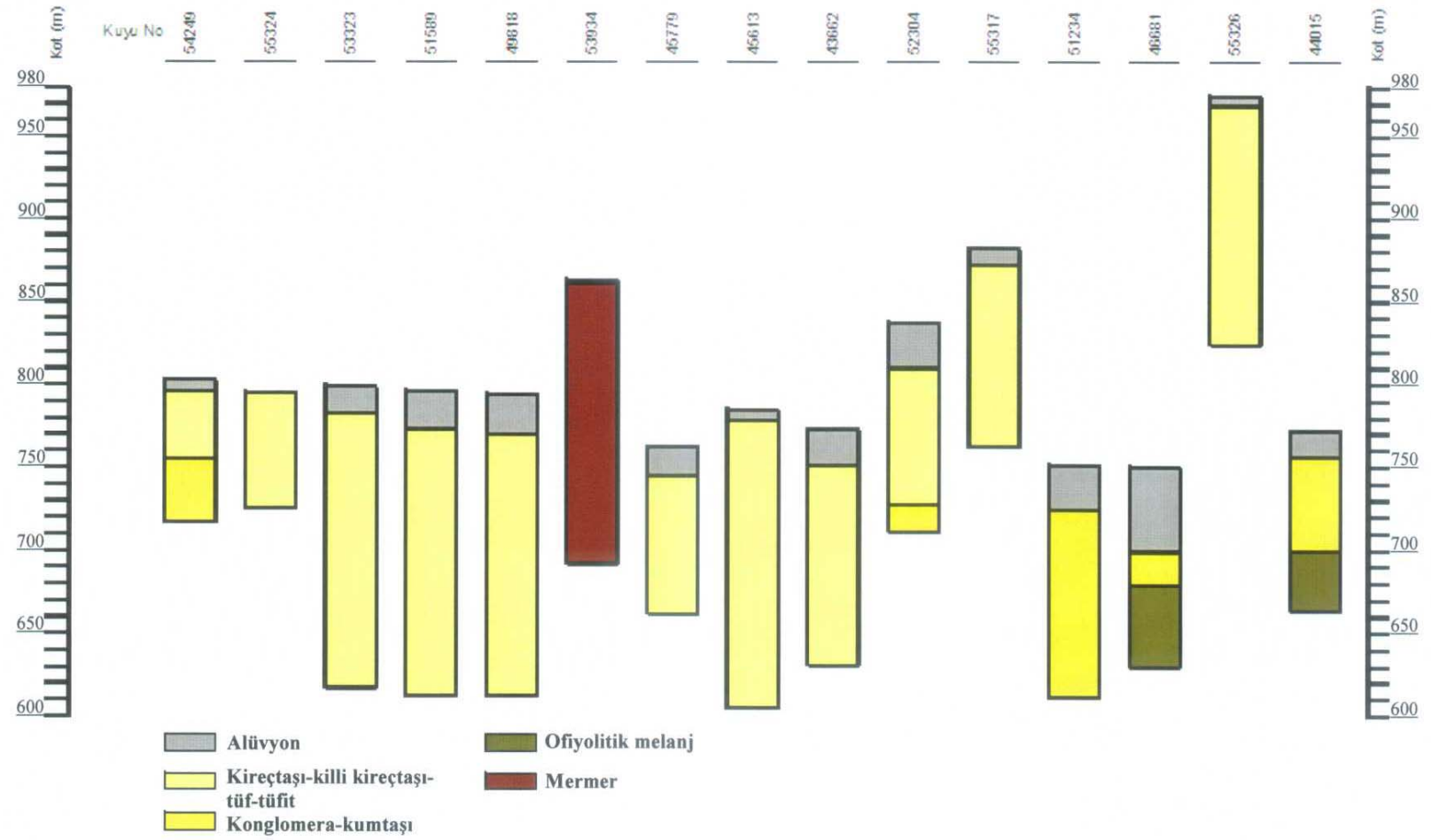
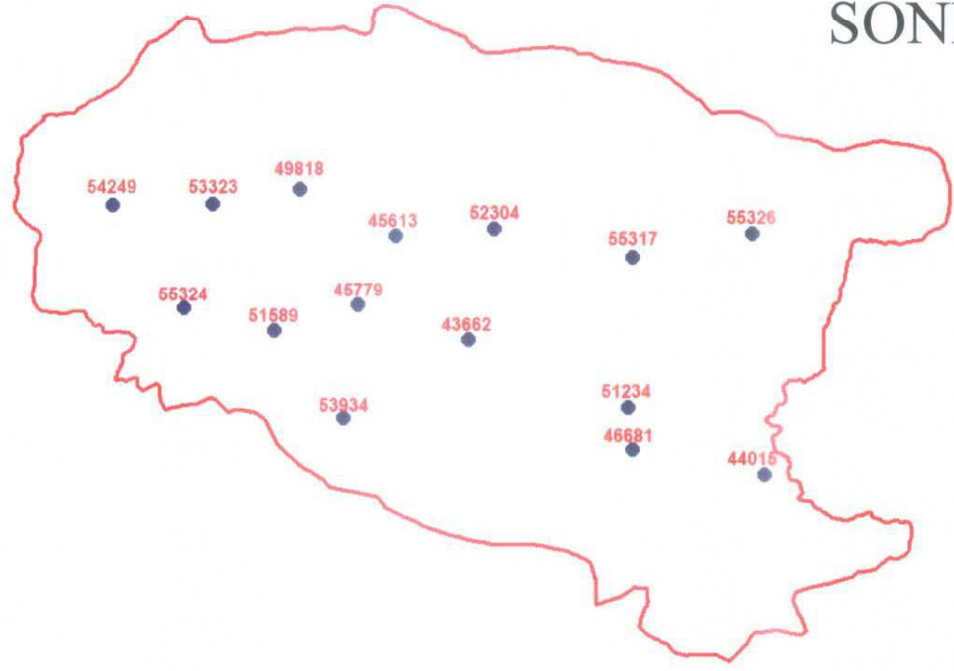


KB

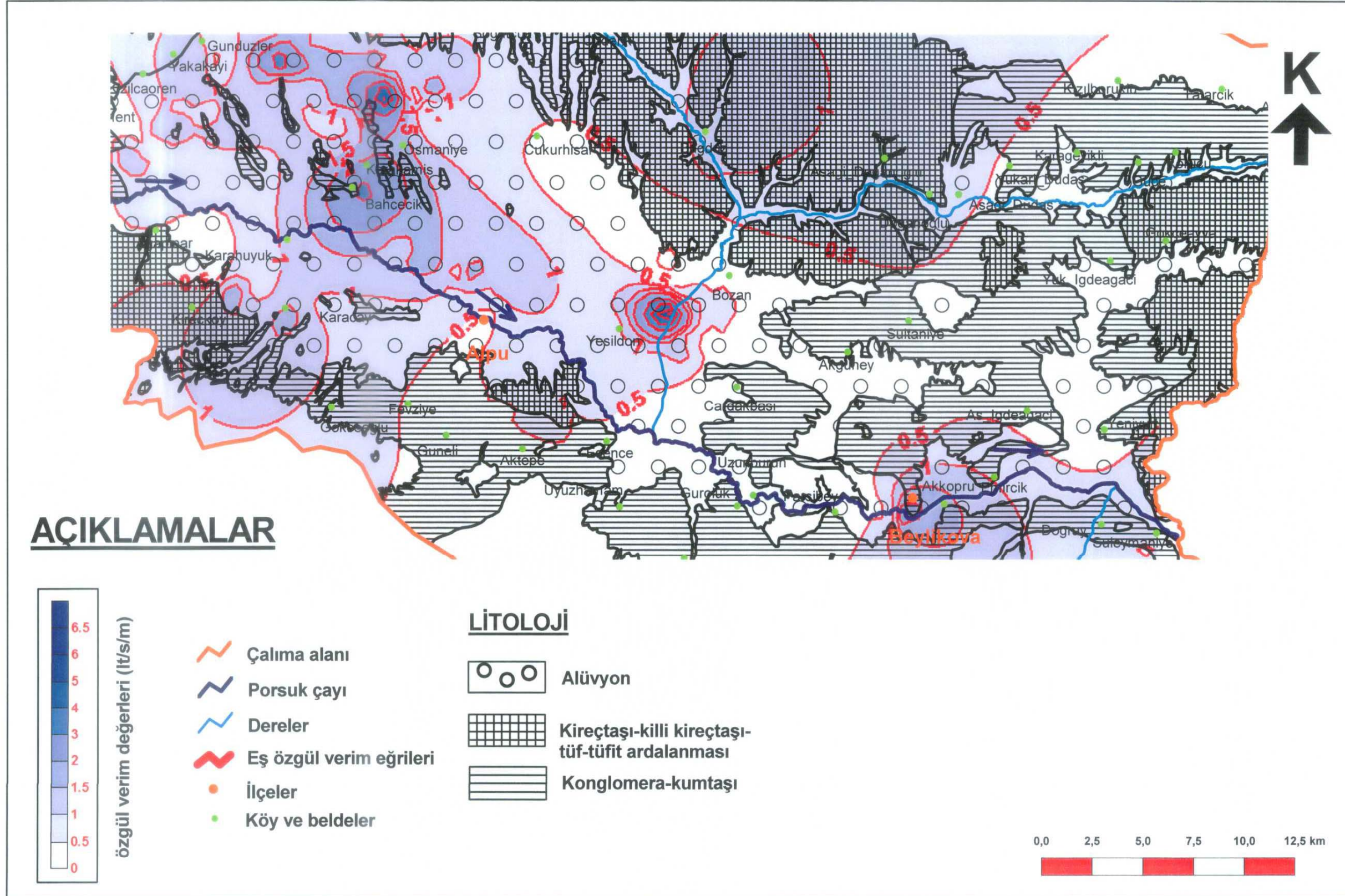
GD



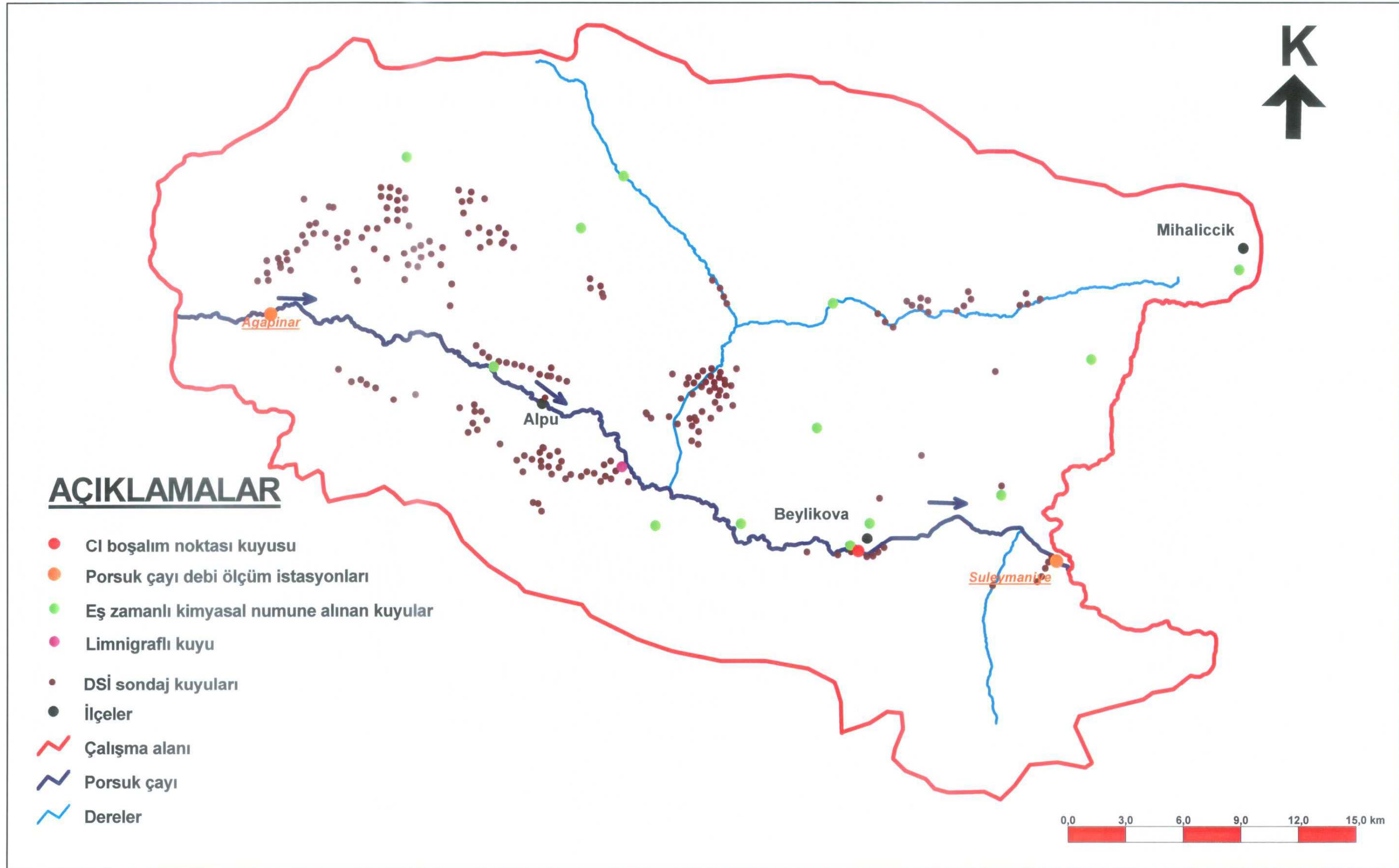
ALPU OVASINDA FARKLI BÖLGELERDE AÇILMIŞ SONDAJ KUYULARINA AİT BİRİMLER



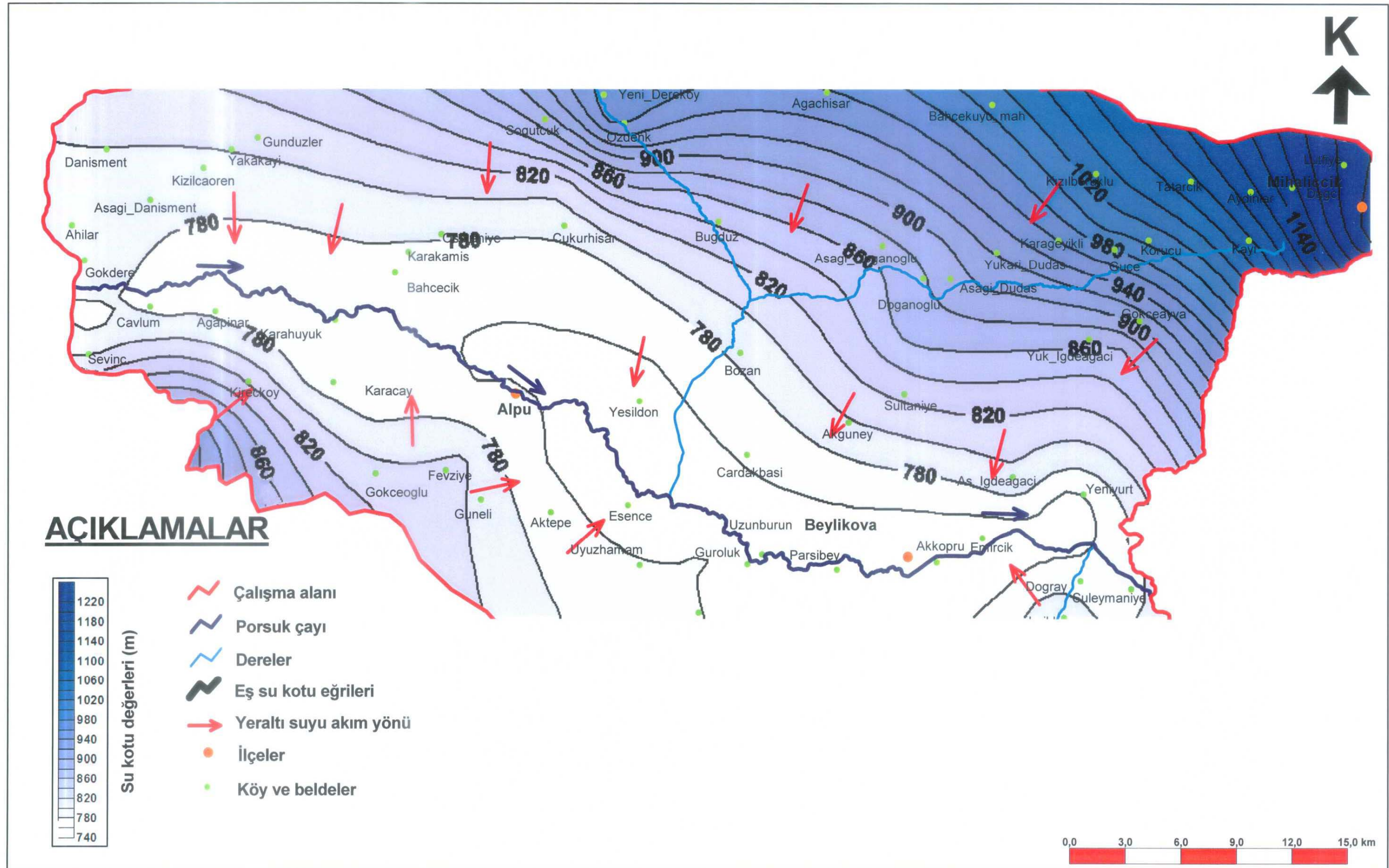
ALPU OVASI ÖZGÜL VERİM- LİTOLOJİ İLİŞKİSİ HARİTASI



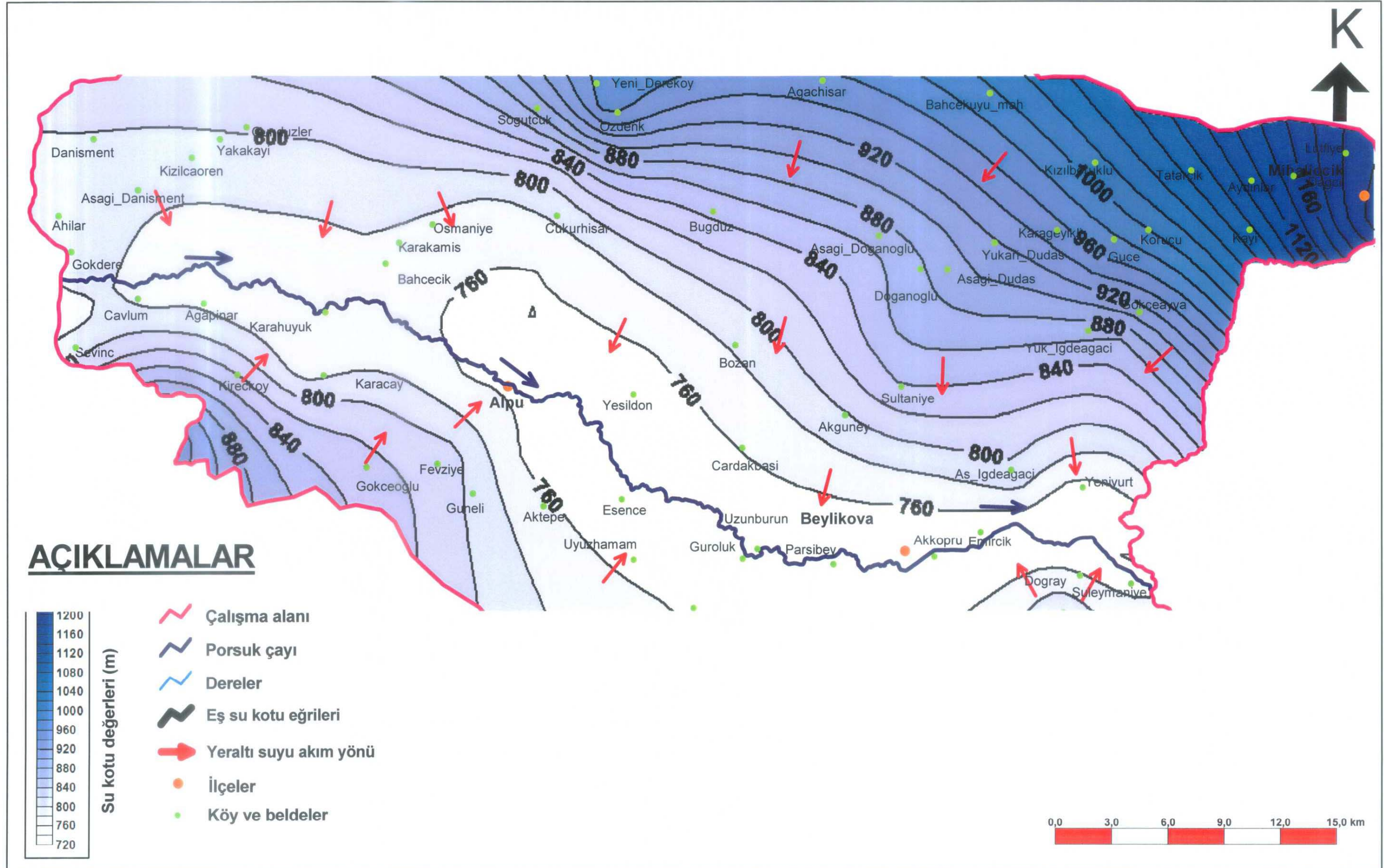
ALPU OVASI ÖLÇÜM NOKTALARI VE SONDAJ KUYULARININ DAĞILIMI



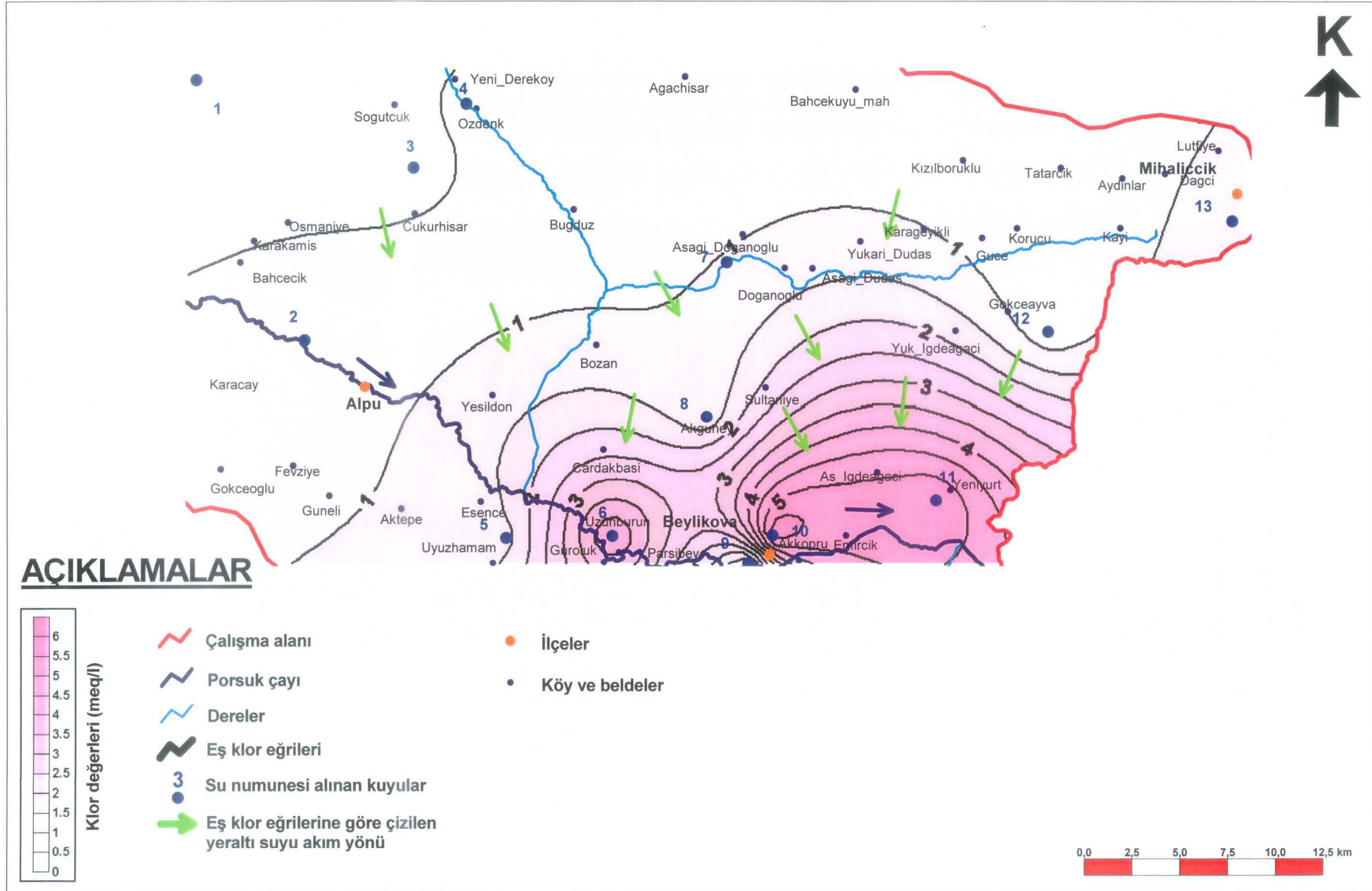
ALPU OVASI 2007 YILI NİSAN AYI SU TABLASI HARİTASI



ALPU OVASI 2007 YILI EKİM AYI SU TABLASI HARİTASI

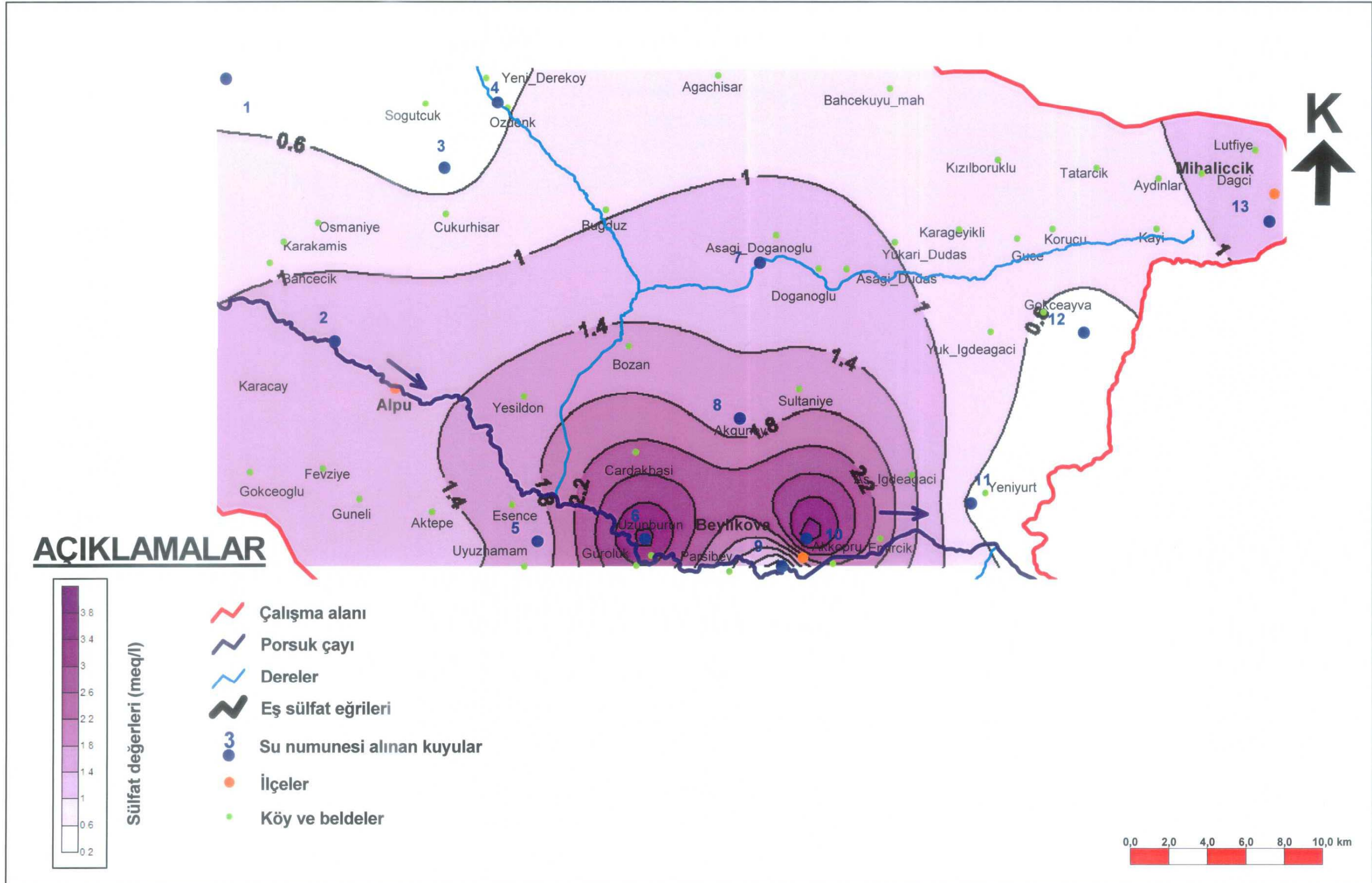


ALPU OVASI EŞ KLOR EĞRİLERİ HARİTASI



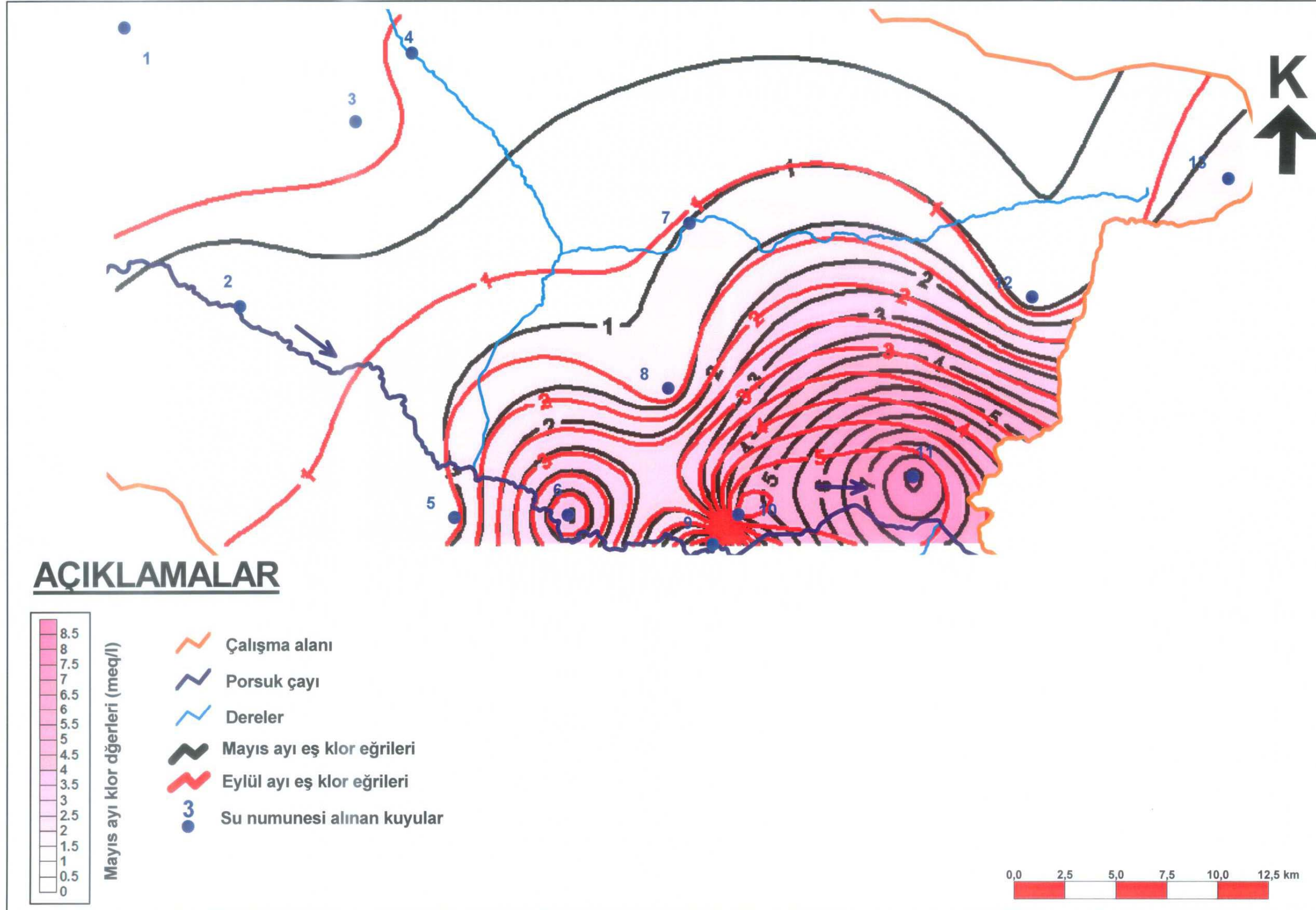
ALPU OVASI EŞ SÜLFAT EĞRİLERİ HARİTASI

EK-9



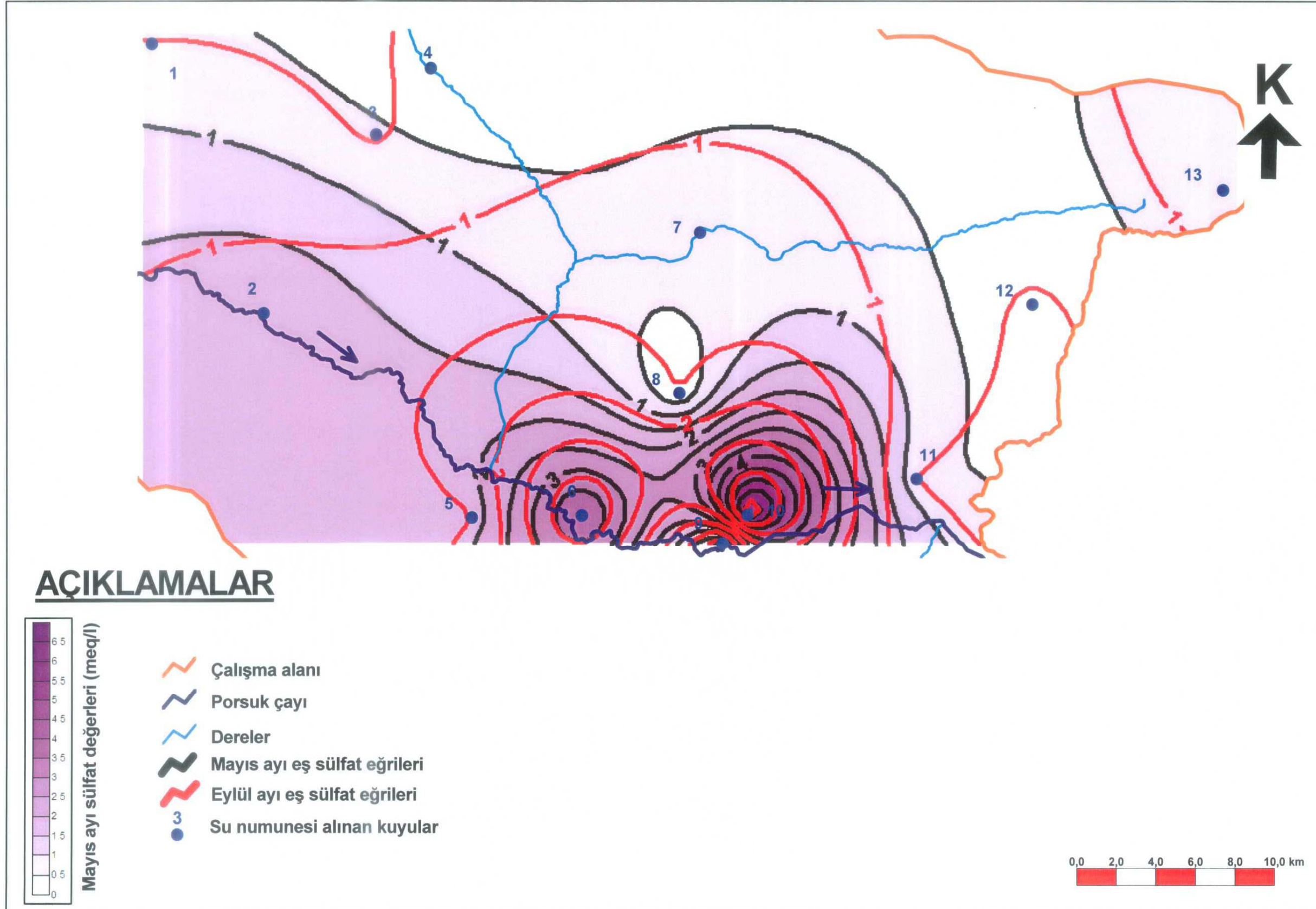
ALPU OVASI 2007 YILI MAYIS VE EYLÜL AYLARI KLOR DEĞERLERİNİ KARŞILAŞTIRMA HARİTASI

EK-10



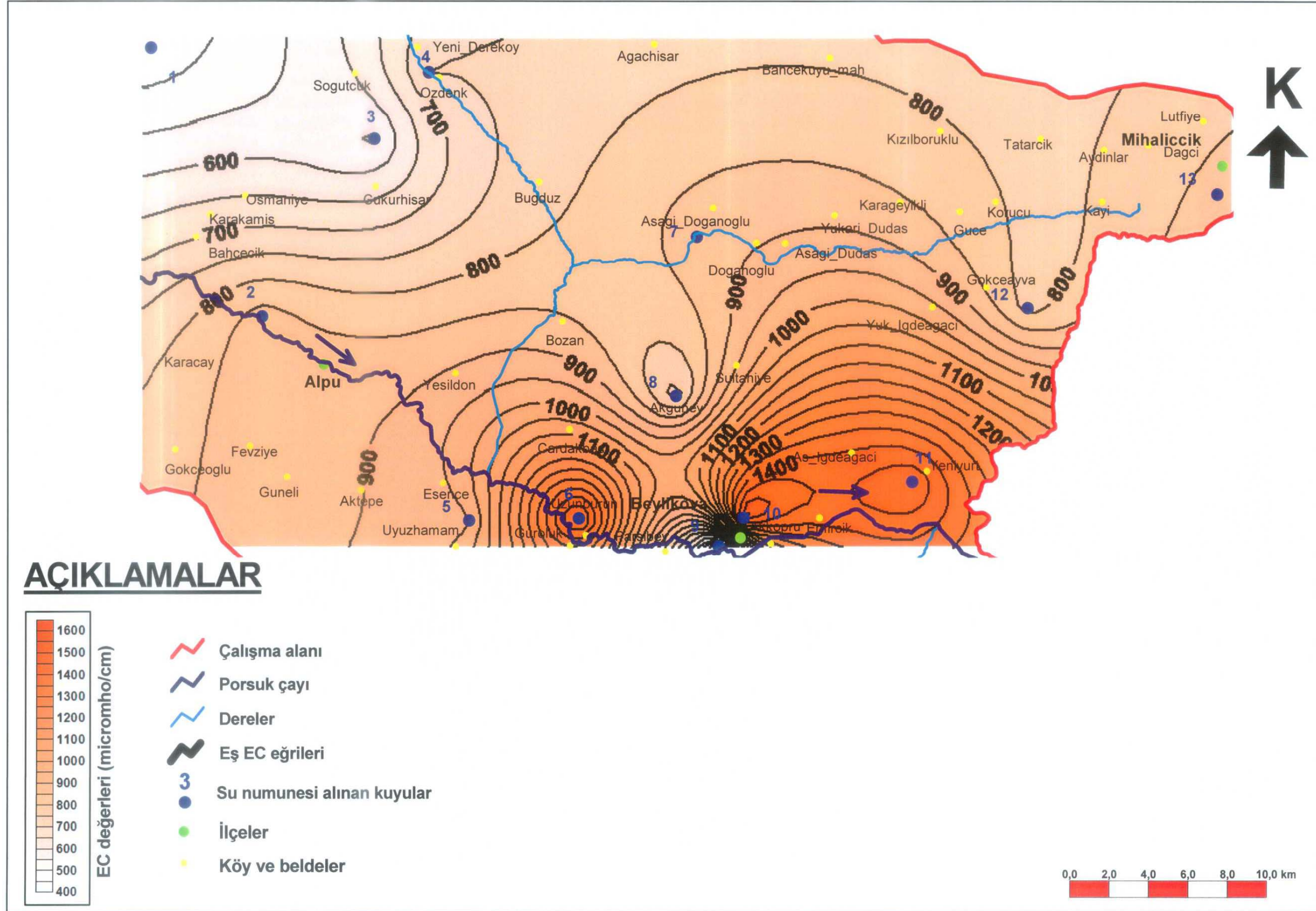
ALPU OVASI 2007 YILI MAYIS- EYLÜL AYLARI SÜLFAT DEĞERLERİ KARŞILAŞTIRMA HARİTASI

EK-11



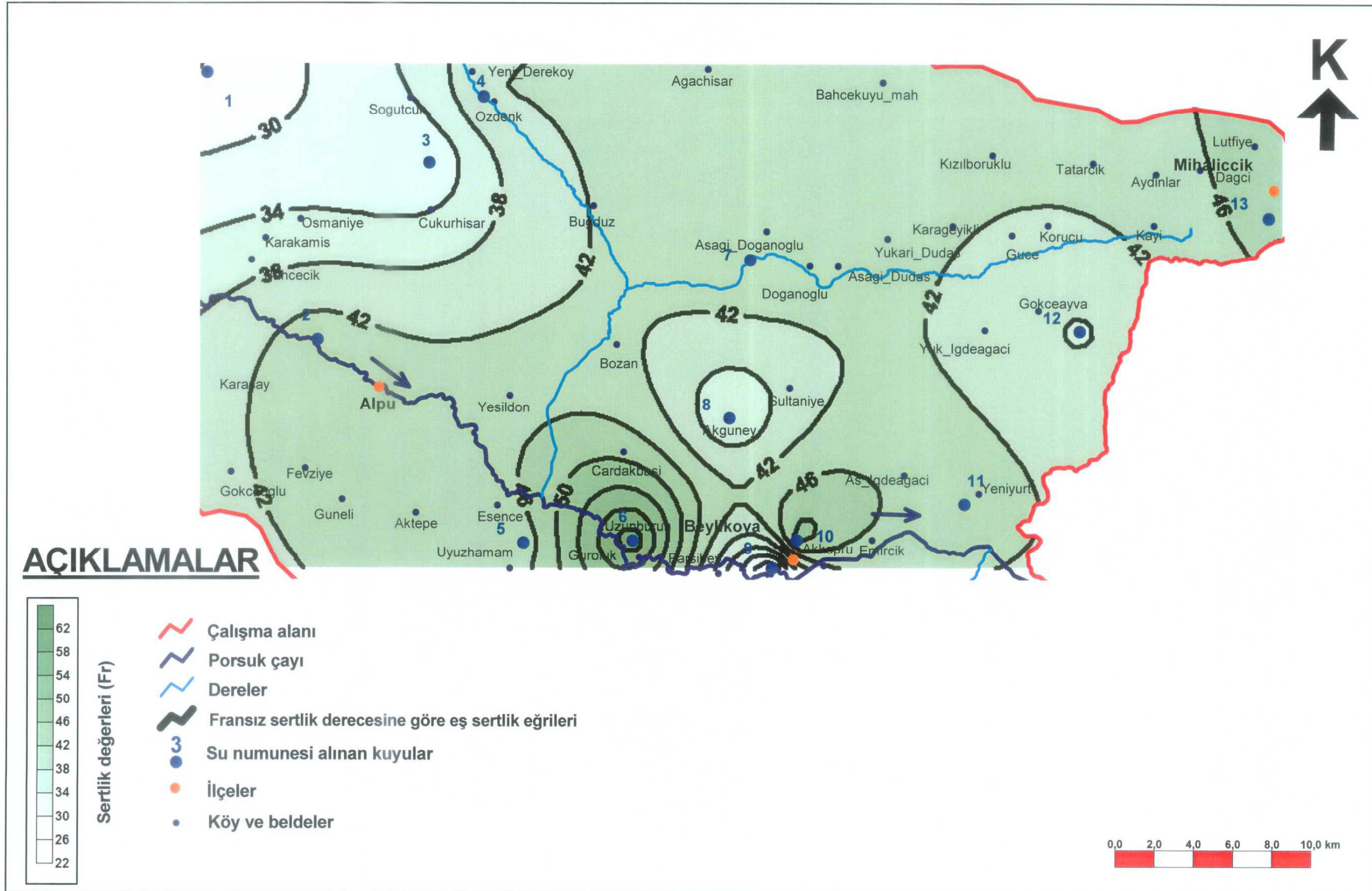
ALPU OVASI EŞ EC EĞRİLERİ HARİTASI

EK-12

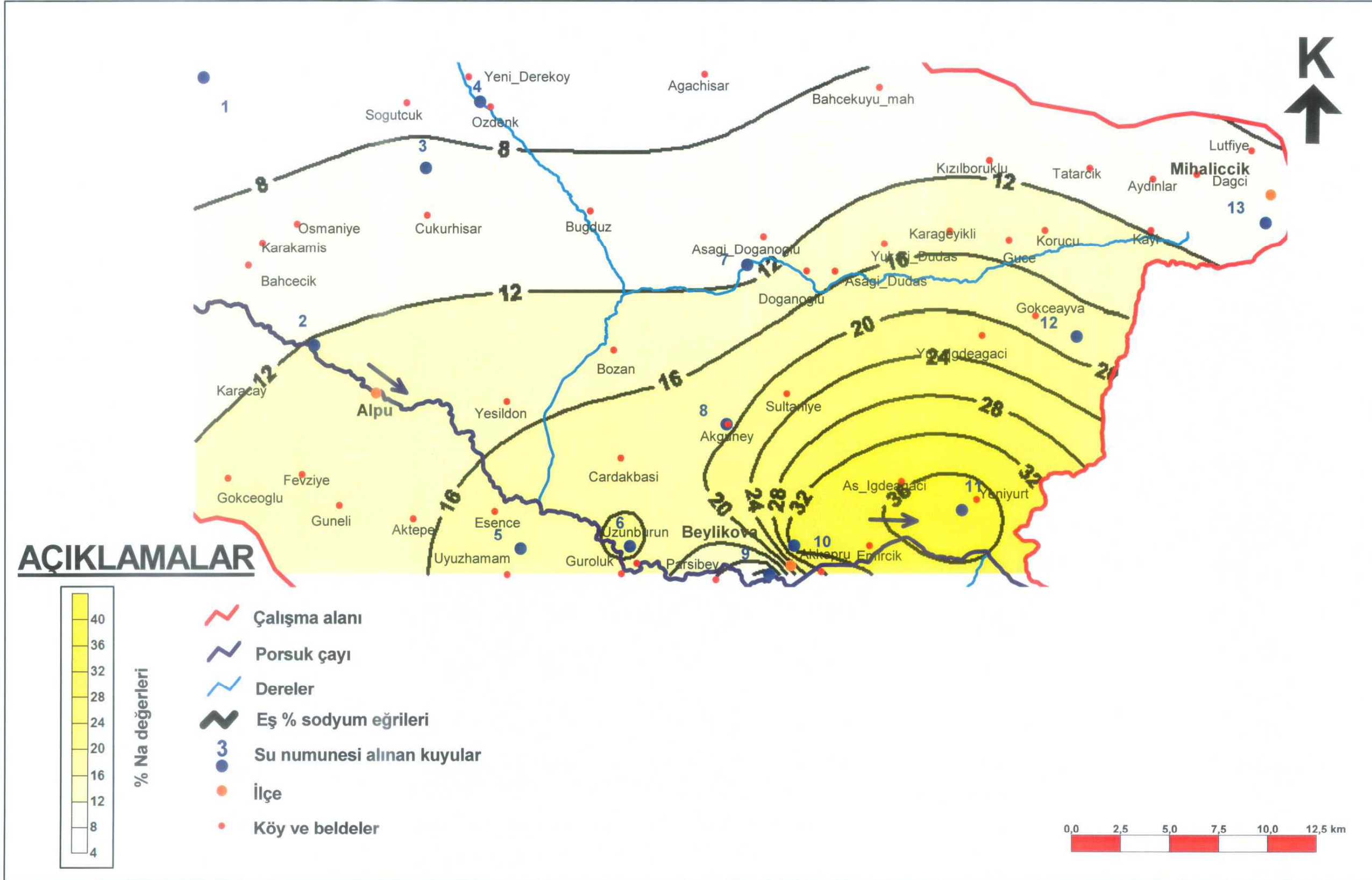


ALPU OVASI EŞ SERTLİK EĞRİLERİ HARİTASI

EK-13

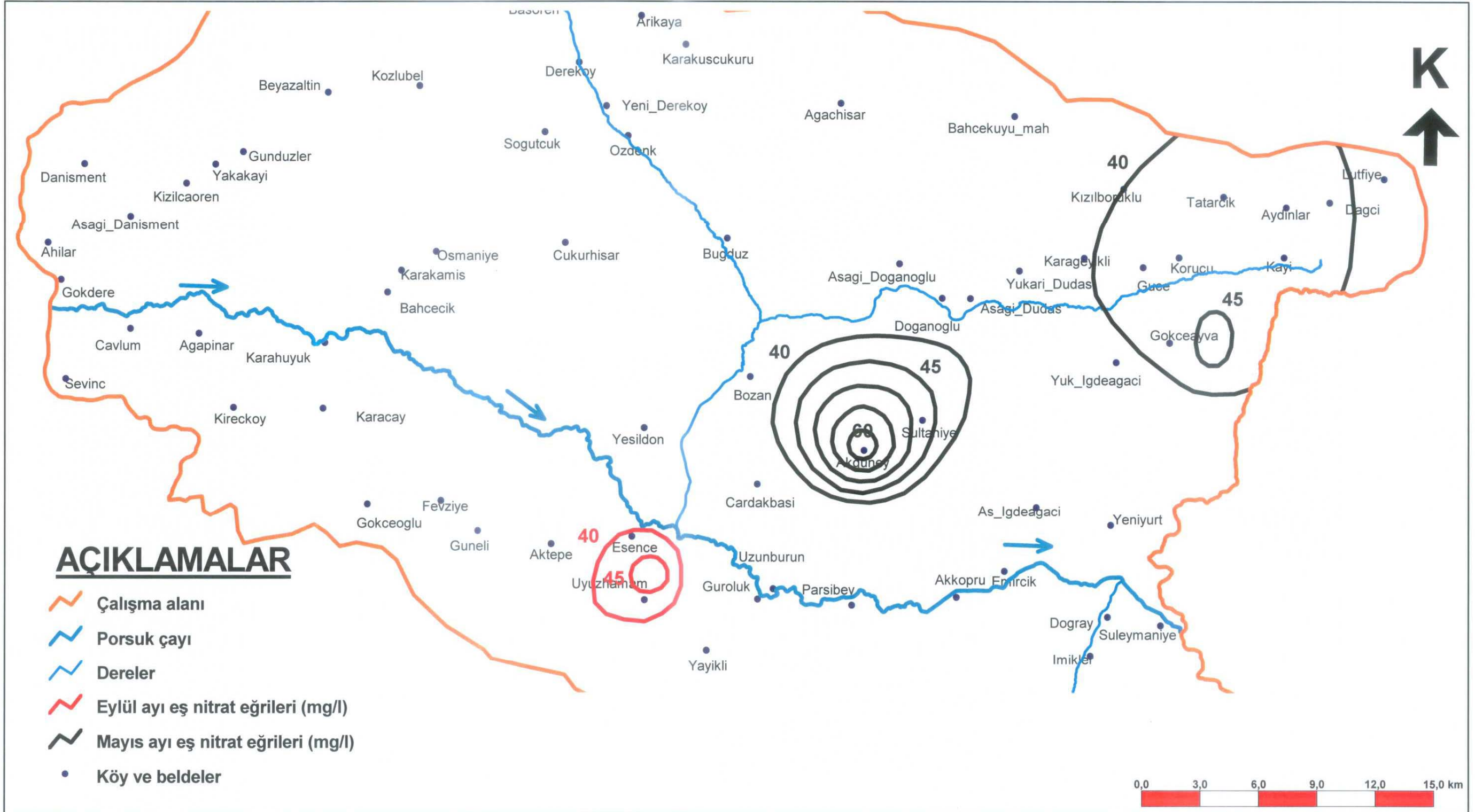


ALPU OVASI EŞ % SODYUM EĞRİLERİ HARİTASI EK-14



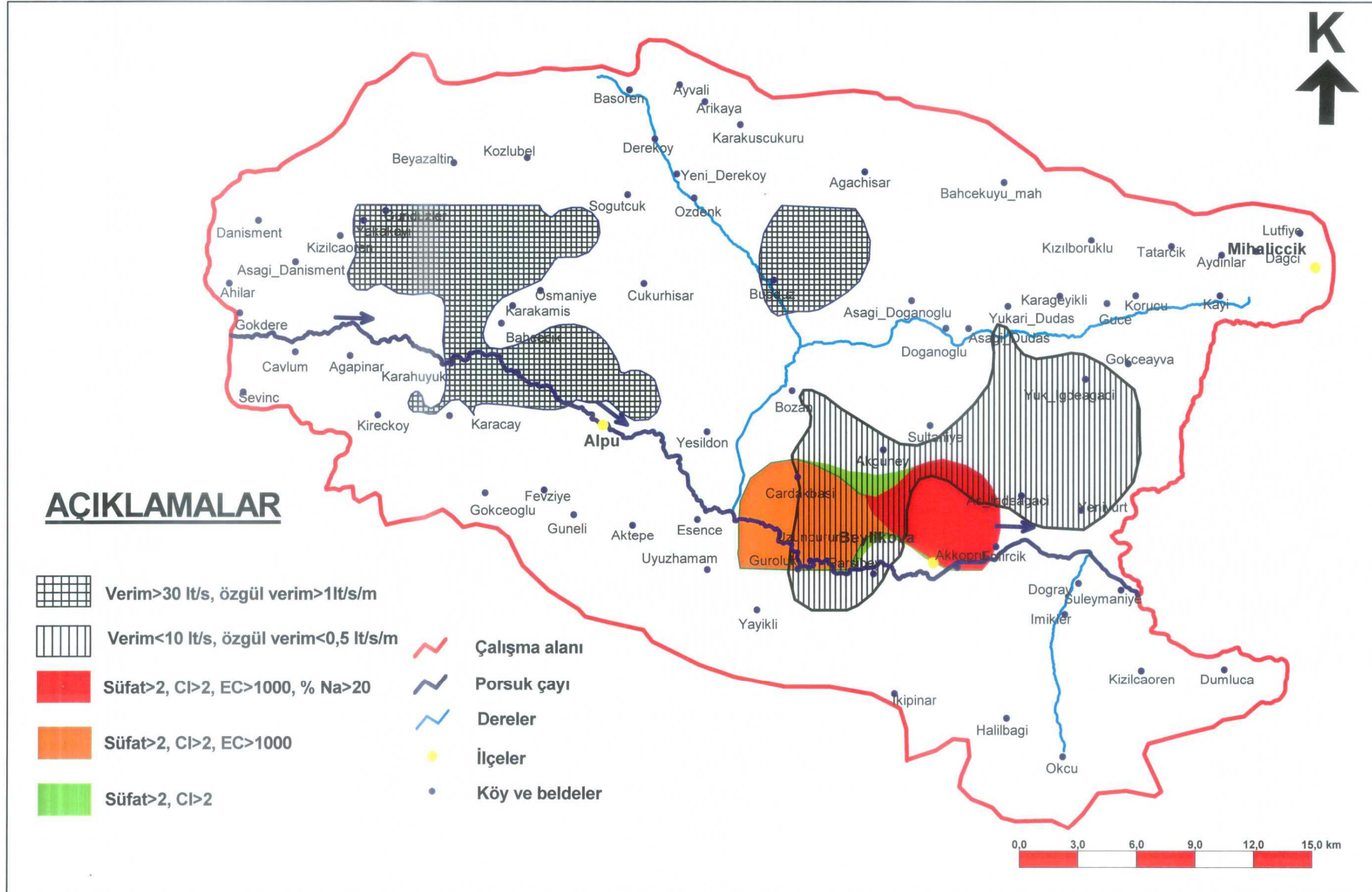
ALPU OVASI EŞ NİTRAT EĞRİLERİ HARİTASI

EK-15



ALPU OVASI YERALTI SUYU VERİM VE KALİTE DAĞILIM HARİTASI

EK-16



ALPU-ESENCE KÖYÜ (7553) LİMNİGRAFLI KUYU STATİK SU SEVİYESİ DEĞİŞİM GRAFİĞİ

