

**GÖKSU DELTASI YERALTI SUYU KİRLİLİĞİNİN
BELİRLENMESİ, MODELLENMESİ ve KİRLETİCİ
KAYNAKLARIN İZOTOP YÖNTEMLERİ İLE
ARAŞTIRILMASI, COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ
OLUŞTURULMASI**

OLCAY ÖZER

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

DOKTORA TEZİ

**Danışman
Prof.Dr.Savaş ŞENER**

**MERSİN
TEMMUZ – 2014**

**GÖKSU DELTASI YERALTI SUYU KİRLİLİĞİNİN
BELİRLENMESİ, MODELLENMESİ ve KİRLETİCİ
KAYNAKLARIN İZOTOP YÖNTEMLERİ İLE
ARAŞTIRILMASI, COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ
OLUŞTURULMASI**

OLCAY ÖZER

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

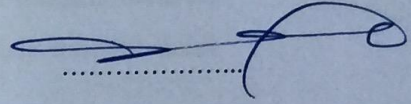
DOKTORA TEZİ

**MERSİN
TEMMUZ – 2014**

Olcaý ÖZER tarafından Prof. Dr. Savaş ŞENER danışmanlığında ve Doç. Dr. Zeynel A. DEMİREL eş danışmanlığında hazırlanan "Göksu Deltası Yeraltı Suyu Kirliliğinin Belirlenmesi, Modellenmesi ve Kirletici Kaynakların İzotop Yöntemleri İle Araştırılması, Coğrafi Bilgi Sistemi Oluşturulması" başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

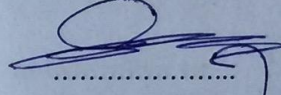
Prof. Dr. Savaş ŞENER



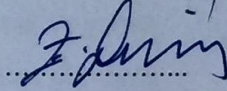
Prof. Dr. Turgut T.ONAY



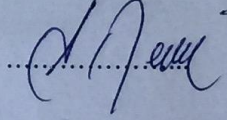
Prof. Dr. Mesut BAŞIBÜYÜK



Doç.Dr. Zeynel A.DEMİREL



Yrd.Doç.Dr.Aydeniz DEMİR



Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 18.../22.../2015 tarih ve 2015.../.../2015... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Doç.Dr. Mehmet KÜÇÜKASLAN
Enstitü Müdürü

GÖKSU DELTASI YERALTI SUYU KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ, MODELLENMESİ ve KİRLETİCİ KAYNAKLARIN İZOTOP YÖNTEMLERİ İLE ARAŞTIRILMASI, COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ OLUŞTURULMASI

Olca ÖZER

ÖZ

Göksu Deltası ülkemizdeki önemli sulak alanlardan biri olmakla beraber, 1. Derece Sit olarak ilan edilmiş ve uluslar arası düzeyde Ramsar listesine dahil edilmiştir.

Deltada tarımsal faaliyetlerde Türkiye ortalamasının çok üstünde gübre ve pestisit kullanımı ile, atıksuların fosseptikler de toplanıyor olması, toprak ve yeraltı suyu kirliliğine neden olmaktadır. Bugüne kadar yapılan çalışmalar da, delta yeraltı suyunda bulunan kirleticilerin kaynağı açıkça ortaya konulamamıştır.

Bu çalışma ile Göksu Deltası yeraltı suyu kirletici kaynaklarını ve yeraltı suyu mevcut kirlilik durumunu ortaya koyabilmek için; yeraltı suyu akım yönüne uygun olarak belirlenmiş kuyulardan yeraltı suyu örnekleri alınmıştır. Bu örneklerde, fosseptik ve tarımsal aktivitelerin yeraltı suyu üzerindeki olumsuz etkilerini belirlemek için numune alınan noktalarda, elektriksel iletkenlik (EC), pH, tuzluluk(sal) ve sıcaklık (T) ölçümleri; nitrit, nitrat, amonyum, fosfat, Demir (Fe), Bakır (Cu), Krom (Cr), Mangan (Mn), Nikel (Ni), Çinko (Zn), Kadmiyum (Cd) ve Kurşun (Pb) iyonu analizleri, belirlenen 13 adet yeraltı ve 5 adet yüzey suyu olmak üzere toplam 18 adet numune de; Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- iyon analizleri, azot kirliliği kaynağının belirlenebilmesi için ^{15}N , 2H (döteryum) ve ^{18}O kararlı (duraylı) izotop analizleri yapılmıştır.

AquaChem 5.1 yazılımı ile yeraltı suyunun fasiyesi (tipi) tespit edilmiş, bölgenin uzun dönem iklimsel verileri yardımı ile Visual HELP yazılımı kullanılarak çalışma alanının hidrolojik parametreleri ve yeraltı suyu beslenimi hakkında veriler oluşturulmuştur.

Visual MODFLOW yazılımı ile yeraltı suyu akım yönü ve nitrat iyonunun yeraltı suyunda taşınımı modellenmiştir.

Ağır metal analiz sonuçları, AquaChem 5.1 yazılımının sunduğu , Schoeller yarı logaritmik diyagramı yardımı ile değerlendirilmiş olup, yeraltı suyunda bu iyonların gübrelemeden kaynaklı olup olmadığı araştırılmıştır.

Çalışma alanındaki yüzey ve yeraltı sularından alınan örneklerin tümünde yapılan analiz sonuçları koordinatlarına uygun olarak bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımı olan MapInfo 9.5 programı kullanılarak , Coğrafi Bilgi Sistemine aktarılmıştır. Koordinatlara göre oluşturulan bilgi sistemi yardımıyla, tematik haritalar oluşturulmuş ve kirliliğin boyutları ve kaynakları ortaya konulmuştur.

Yapılan bu çalışma ile yeraltı sularının kalitesinin tarımsal aktivitelerden, bilinçsiz gübre kullanımından ve bölgedeki fosseptiklerden etkilendiği ortaya konulmuştur. Yeraltı sularında var olan nitrat iyonunun baskın kaynağı, izotop yöntemleri ile atıksudan kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Göksu Delta, Yeraltı suyu kirliliği, Yeraltı suyu modellenmesi, İzotop teknikleri, Coğrafi Bilgi Sistemi

Danışman: Prof. Dr. Savaş ŞENER, Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Eş Danışman: Doç.Dr.Zeynel A.DEMİREL

**MODELLING AND DETERMINATION OF GROUNDWATER
POLLUTION AND AN INVESTIGATION OF POLLUTANT SOURCES
USING ISOTOPE METHODS, ESTABLISHING GEOGRAPHIC
INFORMATION SYSTEMS IN THE GÖKSU DELTA**

Olcay ÖZER

ABSTRACT

Göksu Delta is an important wetland area in Turkey, and has been declared a 1st degree site and has been included in the Ramsar list. In the Göksu Delta region there is much soil and groundwater pollution thought to be caused by septic tanks, fertilizers and pesticides used in agricultural activities.

Previous studies have not clearly determined the source of the pollutants in groundwater in the Göksu Delta. In this study, samples were taken from wells in the delta, to determine the direction of groundwater flow, in order to investigate sources of groundwater pollution and assess pollution levels.

Samples from septic tanks and agricultural groundwater were investigated to determine the negative effects of any pollution. Electrical conductivity (EC), pH, salinity (sal) and temperature (T) measurements were measured in triplicates; as well as levels of nitrite, nitrate, ammonium, phosphate, Fe, Cu, Cr, Mn, Ni, Zn, Cd and Pb ions. In total, 18 samples (13 units of groundwater and 5 units surface water) were analysed for Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- ions, in order to identify the source(s) of nitrogen pollution, using ^{15}N , ^2H (deuterium) and ^{18}O stable isotope analysis.

Groundwater facies have been identified using Aquachem 5.1 software. Visual HELP software with using the region's long-term climatic data has been created with the hydrological parameters and groundwater recharge data from the study area. Groundwater flow direction and nitrate ion transport in the groundwater was modelled by Visual MODFLOW. Heavy metal analyses results have been evaluated with Schoeller's semi-logarithmic diagrams using Aquachem 5.1 software. The presence of these ions in groundwater was investigated to show whether it is fertilization by Schoeller semi-logarithmic diagram. According to coordinates with using MapInfo 9.5 software the results of the analysis of surface and groundwater were transferred to Geographic Information System.

Results show that the quality of the groundwater is affected by the agricultural activities, including the use of unconsciously used fertilizers and septic tanks. The major source of nitrate ions in groundwater results from wastewater.

Key Words: Göksu Delta, Groundwater pollution, Groundwater modelling, Isotope technique, Geographic Information System

Advisor: Prof. Dr. Savaş ŞENER, Department of Environmental Engineering, University of Mersin

Co-advisor: Assoc. Prof. Dr. Zeynel A.DEMİRE

TEŞEKKÜR

Yardımları ve sabrı ile her zaman yanımda olan, bilgisini ve tüm imkanlarını sınırsız benimle paylaşan sevgili hocam, Doç. Dr. Zeynel DEMİREL'e,

Her zaman yanımda olan , desteğini her daim hissettiren saygıdeğer hocam Prof. Dr. Savaş ŞENER'e,

Bilgisini ve kıymetli zamanını tereddütsüz benimle paylaşan , beni kırmayıp bu çalışmada yanımda olmayı kabul eden sayın hocam Prof. Dr. Turgut T. ONAY'a,

Çalışmamın son dönemlerinde yardımlarını esirgemeyen sayın Doç. Dr. Mehmet A. MAZMANCI'ya,

Bilgisini ve zamanını benimle paylaşan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Nadim COPTY'ye,

Çalışmam boyunca manevi desteğini her zaman hissettiren sevgili arkadaşım Yrd. Doç. Dr. Aydeniz DEMİRE'e , Yardımlarını esirgemeyen Arş.Gör. Görkem Doğaroğlu'na ve tüm çalışma arkadaşlarıma , arazi çalışmalarım boyunca yanımda olmayı seçen ayrıca çalışmam boyunca ellerinden geldiğince destek olmaya çalışan , sevgili meslektaş adaylarım değerli öğrencilerime,

Her zaman , her koşulda yanımda olan desteğini esirgemeyen sevgili Aileme , ve oğlum Bora ÖZER'e,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma ME.Ü Bilimsel Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir. (Proje No: BAP-FBE ÇM (OÖ) 2010-5 DR)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZ	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	5
2.1. HİDROLOJİK DÖNGÜ	5
2.2. YERALTI SUYU	6
2.2.1. Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri	8
2.2.1.1. Gözeneklilik (porozite).....	8
2.2.1.2. Özgül verim- Özgül Tutum	8
2.2.1.3. Geçirimsizlik (Permeabilite)	9
2.2.1.4. Hidrolik yük ve akışkan potansiyeli	11
2.2.1.5. İletimsizlik (Transmissivite).....	13
2.2.2. Yeraltı Suyu Akış Denklemleri	14
2.3. YERALTI SUYU KİRLENMESİ	19
2.3.1. Yeraltı suyunda kirleticili taşınım ve yayılım mekanizmaları.....	20
2.4. YERALTI SUYU MODELLERİ	29
2.4.1. Kavramsal Model	31
2.4.2. Grid Tasarımı.....	32
2.4.2.1. Sonlu farklar grid yapısı	32
2.4.2.2. Sonlu elemanlar grid yapısı	33
2.4.3. Visual MODFLOW	34

2.5. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS).....	36
2.5.1. CBS'de Temel İşlevler.....	37
2.5.2. Enterpolasyon Metodları.....	39
2.6. İZOTOP VE HİDROJEOLOJİDE KULLANIMI.....	42
2.6.1. Suyun İzotopik Bileşimi.....	43
2.6.2. Azot ve Azot İzotopu.....	48
2.6.2.1. Azot.....	48
2.6.2.2. Azot izotopları.....	51
2.6.2.3. Azot kaynaklarının izotopik bileşimi.....	52
2.7. GÖKSU DELTASI.....	57
2.7.1. Nüfus.....	60
2.7. 2. İklim.....	64
2.7.3. Hayvancılık.....	66
2.7.4. Avcılık ve Balıkçılık.....	69
2.7.5.Tarım.....	70
2.8. GÖKSU DELTA'SINDA YAPILAN ARAŞTIRMALAR.....	90
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	97
3.1.Yerinde Yapılan Ölçümler.....	99
3.2.Laboratuar Analizleri.....	99
3.2.1.Su kirlenici yükleri analizleri.....	99
3.2.2.Majör iyon analizleri.....	100
3.2.3.İzotop analizleri.....	100
4.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	101
4.1. VISUAL HELP MODELİ SONUÇLARI.....	101
4.2.YERALTI VE YÜZEY SUYU ANALİZLERİ.....	105
4.2.1.Yeraltı ve YüzeY Suyu Hidrojeokimyası.....	105
4.2.2.Yeraltı ve YüzeY Sularının Ağır Metal İçerikleri Açısından Değerlendirilmesi.....	113

4.2.3.Yüzey ve Yeraltı Suyu Kirlenici Parametre Analiz Sonuçları	134
4.2.3.1.Yeraltı suyu kirlenici parametre sonuçları	134
4.2.4.Yüzey Suyu Kirlenici Parametre Sonuçları	162
4.3. İZOTOP ANALİZ SONUÇLARI	164
4.4. GÖKSU DELTASI YERALTI SUYU AKIM ve KİRLETİCİ MODEL SONUÇLARI	170
4.4.1. Yeraltı Suyu Akım Modeli	171
4.4.2. Yeraltı Suyu Taşınım Modeli	177
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	184
5.1.YERALTI SUYU AĞIR METAL İÇERİKLERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	186
5.2. YERALTI SUYU KİRLETİCİ PARAMETRE SONUÇLARI.....	189
5.3. YÜZEY SUYU KİRLETİCİ PARAMETRE SONUÇLARI.....	194
5.4. İZOTOP ANALİZ SONUÇLARI	195
5.5. YERALTI SUYU AKIM VE KİRLETİCİ MODEL SONUÇLARI.....	196
5.6. ÖNERİLER	201
KAYNAKLAR.....	204
ÖZGEÇMİŞ	218

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Nokta dağılımına göre uygun enterpolasyon teknikleri	41
Çizelge 2.2. Nüfusa bağlı olarak atıksu oluşumu ve kirlilik yüklerinin değişimi	60
Çizelge 2.3. Yerleşim Birimleri ve Nüfus Dağılımı	60
Çizelge 2.4. Yerleşim Birimleri ve Nüfus Dağılımı ve Oluşabilecek Atıksu Miktarı	61
Çizelge 2.5. Bölgenin Uzun Yıllar İklim İstatistikleri (1931–2003).....	65
Çizelge 2.6. Delta’da hayvan varlığı ve günlük su ihtiyacı	66
Çizelge 2.7. Deltada 2000–2004 Yılları Arasında Avlanan Balık Tür ve Miktarları (kg)	68
Çizelge 2.8. Göksu Deltası’nda DSİ 62. Şube Müdürlüğünün Şebekesi İle Sulanabilen Ürünler ve Yetiştirilme Alanları.....	74
Çizelge 2.9. 1996 ve 1999 yıllarında Göksu Deltası’nda Etkili Madde Bazında Pestisit Kullanımı (kg/L)	75
Çizelge 2.10. Göksu deltasında kullanılan pestisit bileşimleri.....	76
Çizelge 2.11. Türkiye ve Göksu Deltası’nda Çeşitlerine Göre Gübre Tüketimi.	82
Çizelge 2.12. Yeraltı suyunda başlıca organik-inorganik kirleticiler ve kaynakları	83
Çizelge 2.13. Toprakların kirlenmesine neden olan çeşitli kimyasal element kaynakları (mg/kg kuru toprak).....	84
Çizelge 2.14. Göksu Deltasındaki Narenciye Üretiminde kullanılan gübre ve pestisitler	87
Çizelge 2.15. Göksu Deltasındaki Çilek Üretiminde kullanılan gübre ve pestisitler	88
Çizelge 2.16. Göksu Deltasındaki Seradaki Domates ve Salatalık Üretiminde kullanılan gübre ve pestisitler	89

Çizelge 2.17. Göksu Deltasındaki Buğday Üretiminde kullanılan gübre ve pestisitler	89
Çizelge 2.18. Göksu Deltasındaki Çeltik Üretiminde kullanılan gübreler	90
Çizelge 2.19. Göksu Deltasındaki Yerfıstığı ve Susam Üretiminde kullanılan gübre ve pestisitler	90
Çizelge 2.20. Göksu Deltasındaki Mısır Üretiminde kullanılan gübre ve pestisitler	90
Çizelge 4.1. Göksu deltasında zemin profili	102
Çizelge 4.2. Yüze ve yeraltı suları majör iyon analiz sonuçları (mg/L).....	108
Çizelge 4.3. Göksu Deltası yüze ve yeraltı suyu kimyasal fasiyesi (tipi).	111
Çizelge 4.4. Yüze-Yeraltı suyu ağır metal analiz sonuçları (1.Dönem) (mg/L).	114
Çizelge 4.5. Yüze-Yeraltı suyu ağır metal analiz sonuçları (2.Dönem) (mg/L).	116
Çizelge 4.6. Yüze-Yeraltı suyu ağır metal analiz sonuçları (3.Dönem) (mg/L).	118
Çizelge 4.7. Yeraltı suyu kirlenici parametre analiz sonuçları (1.dönem) (mg/L).	135
Çizelge 4.8. Yeraltı suyu kirlenici parametre analiz sonuçları (2.dönem) (mg/L).....	137
Çizelge 4.9. Yeraltı suyu kirlenici parametre analiz sonuçları (3.dönem) (mg/L).	139
Çizelge 4.10. Suların özgül elektriksel iletkenliği esas alınarak yapılan sınıflandırma.....	145
Çizelge 4.11. Tuzluluğa göre suların sınıflandırılması	148
Çizelge 4.12. Yüze suyu kirlenici parametre analiz sonuçları (1.dönem) (mg/L).....	162

Çizelge 4.13. Yüzeşy suyu kirlenici parametre analiz sonuçları	
(2.dönem) (mg/L)	162
Çizelge 4.14. Yüzeşy suyu kirlenici parametre analiz sonuçları	
(3.dönem) (mg/L)	162
Çizelge 4.15. Yağışlı mevsim (1.Dönem) izotop analizi sonuçları	165
Çizelge 4.16. Kurak mevsim (2.Dönem) izotop analizi sonuçları	165
Çizelge 5.1. Her dönem için , örnek alınan kuyularda min./mak. ağır metal konsantrasyonları.	187
Çizelge 5.2. SKKY -I.Sınıf Su Sınır değerini aşan kuyular.	187
Çizelge 5.3. EPA Sınır değerini aşan kuyular.	188

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Göksu Deltası genel konumu	3
Şekil 2.1. Su döngüsü	6
Şekil 2.2. Darcy deney düzeneği	10
Şekil 2.4. Hidrolik eğim	13
Şekil 2.5. Gözenekli ortamdaki akış için birim kontrol hacmi.....	15
Şekil 2.6 .Yeraltı suyunda oluşan kirlenici bulutu (plume).....	22
Şekil 2.6. Taneler arası hız dağılımı	24
Şekil 2.7. Turtozite etkisi	25
Şekil 2.8. Bir akiferi kapsayan blok merkezli sonlu farklar noktalar ağı.....	32
Şekil 2.9. Bir akiferi kapsayan kafes merkezli sonlu farklar noktalar ağı.....	33
Şekil 2.10. Bir akiferi kapsayan sonlu elemanlar noktalar ağı	33
Şekil 2.11. MODFLOW tarafından benzeştirilebilen akifer sistemi özellikleri....	35
Şekil 2.12. Farklı su kaynaklarının izotop bileşimini ve fiziko-kimyasal süreçlerin su bileşimi üzerine etkilerini gösteren δD - $\delta^{18} O$ diyagramı.	46
Şekil 2.13. Şematik δD - $\delta^{18} O$ grafiği ve karışım oluşturan uç sular.	47
Şekil 2.14. Azot döngüsü.....	49
Şekil 2.15. Farklı azot kaynaklarının ^{15}N oranı.	56
Şekil 2.16. Göksu Deltası Özel Çevre Koruma Bölgesi	57
Şekil 2.17. Göksu Deltası Genel Konumu.....	58
Şekil 2.18. Göksu Deltası nüfus yoğunluğu haritası (2007 verileri).	63
Şekil 2.19. Göksu Deltası nüfus ve atıksu tematik haritası.	63
Şekil 2.20. Delta yerleşim yerlerine göre büyükbaş hayvan sayısı dağılımı.	67
Şekil 2.21. Delta yerleşim yerlerine göre küçükbaş hayvan sayısı dağılımı.	68

Şekil 2.22. Delta yerleşim yerlerine göre büyükbaş ve küçükbaş hayvan su tüketim haritası.....	68
Şekil 2.23. Göksu Deltası ÖÇKB deki tarımsal ürün deseni	71
Şekil 2.24. Tarımsal ürünlerin alan içindeki dağılımı	73
Şekil 3.1. Göksu Deltası YüzeY-Yeraltı suyu numune noktaları.....	97
Şekil 3.2. Arazide kullanılan Multiparametre cihazı	99
Şekil 4.1. Göksu deltası için modellenen yağış yükseklikleri	102
Şekil 4.2. Göksu Deltası için modellenen hava sıcaklığı değerleri.	102
Şekil 4.3. Göksu deltası için modelle bulunan güneş radyasyon değerleri.	103
Şekil 4.4. Visual HELP ile yeraltı suyu beslenme miktarının model sunucu.....	104
Şekil 4.5. Göksu Deltası yüzeY-yeraltı suyu majör iyon analizlerinin yapıldığı numune noktaları.	106
Şekil 4.6. AquaChem programı veri giriş penceresi.....	108
Şekil 4.7. AquaChem sonuç ekranı.	109
Şekil 4.8. Farklı yeraltı suyu tiplerinin oluşmasında etkili kimyasal süreçler.....	111
Şekil 4.9. Majör iyon analiz sonuçlarına göre yüzeY ve yeraltı sularının Pie diyagramları.	112
Şekil 4.10. Yeraltı suyu /gübre ağır metal içeriklerinin karşılaştırılması -1.....	119
Şekil 4.11. Yeraltı suyu /gübre ağır metal içeriklerinin karşılaştırılması -2.....	120
Şekil 4.12. Yeraltı suyu /gübre ağır metal içeriklerinin karşılaştırılması -3.....	121
Şekil 4.13. Göksu Deltası yeraltı suyu Demir iyonu değişimi.	123
Şekil 4.14. Göksu deltası yeraltı suyu Mangan iyonu değişimi.	124
Şekil 4.15. Göksu deltası yeraltı suyu Bakır iyonu değişimi	126
Şekil 4.16. Göksu deltası yeraltı suyu Krom iyonu değişimi.	127
Şekil 4.17. Göksu deltası yeraltı suyu Nikel iyonu değişimi.....	128
Şekil 4.18. Göksu deltası yeraltı suyu Çinko iyonu değişimi.....	129

Şekil 4.19. Göksu deltası yeraltı suyu Kadmiyum iyonu değişimi.	130
Şekil 4.20. Göksu Deltası yeraltı suyu Kurşun iyonu değişimi.	131
Şekil 4.21. Göksu Deltası yeraltı suyu pH değişimi.	142
Şekil 4.22. Göksu Deltası yeraltı suyu Sıcaklık değişimi.	143
Şekil 4.23. Delta 1.dönem sıcaklık dağılım haritası	143
Şekil 4.24. Delta 2.dönem sıcaklık dağılım haritası.	144
Şekil 4.25. Delta 3.dönem sıcaklık dağılım haritası.	144
Şekil 4.26. Göksu Deltası yeraltı suyu Elektriksel İletkenlik değişimi.	146
Şekil 4.27. Delta 1.dönem elektriksel iletkenlik (EC) dağılım haritası.	146
Şekil 4.28. Delta 2.dönem elektriksel iletkenlik (EC) dağılım haritası.	147
Şekil 4.29. Delta 3.dönem elektriksel iletkenlik (EC) dağılım haritası.	147
Şekil 4.30. Göksu Deltası yeraltı suyu Tuzluluk değişimi.	148
Şekil 4.31. Göksu Deltası yeraltı suyu Nitrit Azotu değişimi.	149
Şekil 4.32. Delta 1.dönem nitrit azotu dağılım haritası.	150
Şekil 4.33. Delta 2.dönem nitrit azotu dağılım haritası.	150
Şekil 4.34. Delta 3.dönem nitrit azotu dağılım haritası.	151
Şekil 4.35. Göksu Deltası yeraltı suyu amonyum azotu değişimi.	152
Şekil 4.36. Delta 1.dönem amonyum azotu dağılım haritası.	152
Şekil 4.37. Delta 2.dönem amonyum azotu dağılım haritası.	153
Şekil 4.38. Delta 3.dönem amonyum azotu dağılım haritası.	153
Şekil 4.39. Göksu Deltası yeraltı suyu Nitrat Azotu değişimi.	155
Şekil 4.40. Delta 1.dönem Nitrat Azotu dağılım haritası.	156
Şekil 4.41. Delta 2.dönem Nitrat Azotu dağılım haritası.	156
Şekil 4.42. Delta 3.dönem Nitrat Azotu dağılım haritası.	157
Şekil 4.43. Göksu Deltası yeraltı suyu Fosfat iyonu değişimi	159

Şekil 4.44. Delta 1.dönem fosfat dağılım haritası.	160
Şekil 4.45. Delta 2.dönem fosfat dağılım haritası.	160
Şekil 4.46. Delta 3.dönem fosfat dağılım haritası.	161
Şekil 4.47. Yeraltı suyu izotop numuneleri yer bulduru haritası.....	164
Şekil 4.48. Delta yeraltı suyu δD ve $\delta^{18} O$ izotop diyagramı (Şubat(1.)-Kasım(2.) 2011)	166
Şekil 4.49. Yağışlı mevsim (1.Dönem) delta izotop örneklerinin Azot-15 açısından değerlendirilmesi	167
Şekil 4.50. Kurak mevsim (2.Dönem) delta izotop örneklerinin Azot-15 açısından değerlendirilmesi	168
Şekil 4.51. Göksu Deltası yeraltı suyun akımı ve kirleticili taşınım modellenmesinde izlenen basamaklar.	170
Şekil 4.52. Göksu Deltası basitleştirilmiş jeoloji haritası (Model için altlık)	171
Şekil 4.53. Göksu Deltası Akiferinin Sonlu Farklar Model Ağı	173
Şekil 4.54. Akifer Katmanları.....	174
Şekil 4.55. Göksu Deltası Hidrolik iletkenlik dağılım haritası.....	175
Şekil 4.56. Göksu Deltası yeraltı suyu beslenme dağılım haritası	177
Şekil 4.57. Model hidrolik yükler kalibrasyon sonucu.....	179
Şekil 4.58. Model nitrat konsantrasyonu kalibrasyon sonucu.	180
Şekil 4.59. Göksu deltasında yeraltı suyu akım hız vektörleri	181
Şekil 4.60. Göksu Deltası akiferinde 5 yıl öncesi için nitrat taşınım yolları benzeştirme sonuçları (MODPATH).....	182

1. GİRİŞ

Dünyanın oluşumuyla birlikte ortaya çıkan ve insanlık tarihinden daha eskiye dayanan, aynı zamanda normal sıcaklık ve basınç altında sıvı halde bulunan su; her molekülü bir oksijen ile iki hidrojen atomundan oluşan renksiz, kokusuz ve tatsız bir maddedir. Diğer bir deyişle su, yeryüzünün üçte ikisini kaplayan, bileşiminde çözelti ya da asıltı halinde çeşitli maddeler bulunan sıvı bir maddedir. Yerine başka bir şeyin ikame edilemeyeceği doğal bir kaynak olarak su, insan hayatı için oksijenden sonra en önemli öğedir [Ulusoy, 2007].

Su özellikleri itibariyle yalnız canlı çevre üzerinde değil, cansız çevre üzerinde de oldukça etkili bir maddedir. Kayaların fiziksel olarak parçalanarak toprağın oluşması, içindeki maddelerin çözünerek toprağın verimli hale gelmesi, bitkilerin ortaya çıkması, kökten dallardaki yapraklara kadar gerekli yapı taşlarının taşınması ve fotosentez gibi doğa olayları su sayesinde gerçekleşmektedir. “Yaşam suda başlamıştır.” önermesi suyun yeryüzünde sahip olduğu önemin göstergesidir [Özsoy, 2009].

İnsanlık tarihinin büyük bir bölümünde yeraltı sularından, yüzey sularının kıt olduğu kurak bölgelerde yararlanılmıştır. Yirminci yüzyılın ikinci yarısında patlayan su talebi nedeniyle, her kıtada büyük akiferlerin sularından faydalanılmaktadır. Yeraltı sularının daha fazla kullanılmasının arkasında, 1950 yılından bu yana sulu tarım uygulamasının artması yatmaktadır. Her yıl kuyulardan ve nehirlerden çekilen tatlı suyun üçte ikisi, sulu tarımda kullanılmaktadır [Özsoy, 2009].

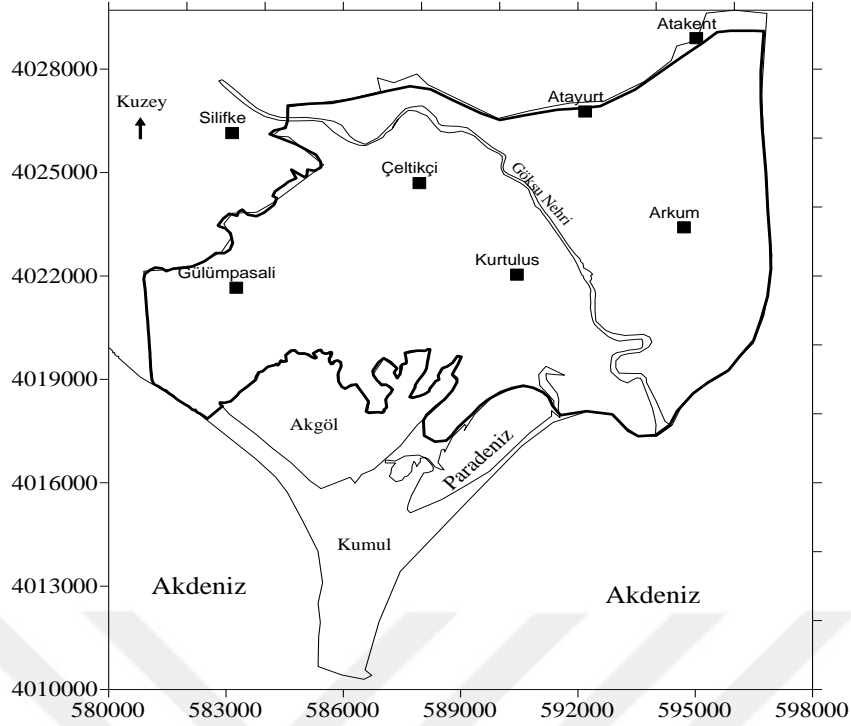
Ancak günümüzde sadece sulu tarım nedeniyle değil, endüstrileşmenin hızındaki artış nedeniyle de yeraltı suyunun kullanımı artmaktadır. Yeraltı suları yani diğer adıyla akiferler, dünyada olduğu gibi ülkemizde de su ihtiyacının karşılanması için gerekli suyun sağlanmasında önem arz eden kaynaklardır. Su tarımsal üretimde en temel girdidir. Yetiştirilen ürünlerin yaşayabilmesi için

yağışlar yoluyla ürünlerin erişemedikleri suyun, sulama yoluyla karşılanması gerekir [Özsoy, 2009].

Su yer yüzeyinde en değerli doğal kaynaktır. Mevcut su kaynakları arasında yüzeysel sular toplam miktarın %99.4'ünü (1.4×10^9 km³), yeraltı suları ise %0.6'sını (9×10^6 km³) oluşturmaktadır. Fakat hidrolojik çevrim içindeki suların %97.34'si deniz ve okyanuslar gibi tuzlu sulardan oluşmaktadır. Geriye kalan tatlı suların (%2.66 toplam suya göre) büyük çoğunluğu %77.23'ü buzullarda, %22.38'i yeraltı sularında, %0.36'sı göller ve akarsularda ve %0.03'ü ise atmosferde bulunmaktadır [Bear vd, 1999].

Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de yüzeysel su kaynakları yaygınlıkla kullanılmasına rağmen, bazı iletim problemlerinden, çevresel etkilerden, tarımdaki sulama tekniklerinden, taşınan katı madde (sediment) ve buna bağlı sulama sistemindeki olumsuzluklardan (yağmurlama, ya da damlama sisteminde olduğu gibi) yeraltı su kaynaklarının da kimi bölgelerde yoğun olarak kullanılması gerekmektedir. Yeraltı suyu işletmesinde akifer sınırları içinde yıllık su çekme miktarları, su çekmek veya yapay besleme için kuyuların yerlerinin tespiti gibi kararların verilmesi en az yeraltı suyunun kalitesi kadar önemlidir. Dünyanın birçok bölgesinde yeraltı suyu kalitesi gün geçtikçe kötüleşmekte ve resmi kurumlar yeraltı suyu kirlenmesi üzerinde durmaktadır [Emekli, 1993].

Göksu Deltası, İçel İli Silifke İlçesi sınırları içerisinde, Ortadoğu ve Avrupa'nın en önemli sulak alanı olan Göksu Deltası, Mersin İl merkezinin 85 km batısında Mersin iline bağlı Silifke İlçesi'nin güney kenarında 33° 17' Kuzey, 35° 59' Doğu koordinatları arasında yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1.1. Göksu Deltası genel konumu.

Göksu nehrinin batısında iki sığ lagün gölü, Paradeniz ve Akgöl yer almaktadır. Göksu deltasındaki toplam karasal alan 155.34 km² dir. Bu alanın 13.804 hektarlık (ha) kısmı kara yüzeyini 1.730 ha alanı ise su yüzeyini oluşturmakta ve delta yüzeyi boyunca rakım değerleri 0–5 m arasında değişmektedir [ÖÇKB, 2009].

Göksu nehri; 260 km uzunluğa, 10 400 km² drenaj alanına, yıllık ortalama 110 m³/s debiyi sahiptir. Göksu Deltası su kaynakları açısından zengin olup yaklaşık 95000 dekarı sulanmaktadır. 1972 yılında DSİ I. Merhale Sulama Projesi ile 53.225 da alanın sulamaya açılmıştır. Deltada sulanan alanların geriye kalan kısmı ise çiftçilerin I. Merhale Projesinin uç noktaları, yeraltı suyu ve yer yer drenaj kanallarından temin edilen su ile sulanmaktadır [ÖÇKB, 2009].

DSİ sulama ve drenaj kanalları deltanın merkezinde ve kuzey bölümünde yer almakta, Göksu nehrinden alınan sulama sularının bir kısmı drenajla tekrar

yüzeysel su sistemine geri dönmektedir. Sulama sonunda araziden toplanan drenaj suyu, deltanın güney bölümünde bulunan Akgöl ve Paradeniz göllerine veya Göksu nehrine deşarj edilmektedir. Akgöl'ün yüzey alanı yaklaşık 800 ha olup, genellikle tatlı ve hafif tuzlusu arası su cinsine sahip iken, Paradeniz'in alanı 602 ha olup, genellikle hafif tuzlu ve tuzlu arası su cinsine sahiptir [Haar ve Heunks 1992]. Bu iki göl suni olarak yapılmış bir kanal ile birbirlerine bağlanmışlardır.

Bölge yeraltı ve yerüstü kaynakları açısından oldukça zengindir. Mevcut dereler, kaynaklar, yeraltı suları genel olarak tarımsal kirlenmeye açıktır. Göksu Deltası'nda kontrolsüz olarak devam eden tarımsal faaliyetler, Göksu Nehri'ni regülatör çıkışından denize döküldüğü alana kadar tehdit etmektedir. Bölge tamamıyla Akdeniz kıyısında olmasından dolayı yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçen tipik Akdeniz iklimi özelliği göstermektedir.

Bu çalışmanın amacı; yeraltı suyu akım yönüne uygun olarak belirlenmiş kuyulardan alınan örneklerde, azot ve diğer kirleticileri konsantrasyonlarının belirlenmesi ve sudaki izotop analizlerinin sonuçları ile fosseptik ve tarımsal aktivitelerin yeraltı suyu üzerindeki olumsuz etkilerini belirleyerek, azotun kirleticili kaynağını/kaynaklarını ortaya koymaktır. Visual MODFLOW yazılımı ile yeraltı suyu akım yönü ve nitrat iyonunun yeraltı suyunda taşınımı modellenmiştir. Çalışma alanındaki yüzey ve yeraltı sularından alınan örneklerin tümünde yapılan analiz sonuçları, koordinatlarına uygun olarak bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımı olan MapInfo 9.5 programı kullanılarak , Coğrafi Bilgi Sistemine aktarılmıştır. Koordinatlara göre oluşturulan bilgi sistemi yardımıyla, tematik haritalar oluşturulmuş ve kirliliğin boyutları ve kaynakları ortaya konulmuştur. Oluşturulan coğrafi bilgi sistemi ile, bilgiye erişimi hızlandırılmış ve görsel hale getirilerek yönetimde doğru, hızlı karar vermeye olanak sağlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. HİDROLOJİK DÖNGÜ

Suyun okyanus, atmosfer ve kara arasında durmak bilmeyen dolaşımına hidrolojik döngü adı verilir.

Yerkürenin hayatı ve yapısında büyük rol oynayan su, dere, çay, nehir ve denizlerden güneş ısısı sayesinde buharlaşarak atmosfere yükselir ve orada önemli bir potansiyel enerji oluşturur. Bulutların yoğunlaşması ile yağışlar (P) meydana gelir. Yağış sularından bir kısmı yeryüzüne ulaşmadan atmosferde buharlaşır (E). En önemli kısmı ise yeryüzüne düşer. Yeryüzüne düşen suyun bir kısmı hemen, bir kısmı da akma sırasında ve toplanmadan sonra buharlaşarak atmosfere döner. Diğer bir kısmı yeryüzünde topografik eğim yönünde yerçekimine bağlı olarak akar (Qr). Yüzeyle akan suyun bir kısmı su birikintileri meydana getirirken, bir kısmı da var olan su kütlerine katılır. Diğer bir kısmı da geçirimsiz ve yarı geçirimsiz yüzeylerden akarken yer kabuğunun içine doğru, bir akifer yüzeyine veya geçirimsiz olmayan bir tabakaya erişinceye kadar dikey olarak süzülür (I). Bundan sonra dikey olarak dolaşamayan su, eğik olarak jeolojik yapının içinde hareket eder.

Yerin altına süzülen suyun bir kısmı bitkiler tarafından alınır. Bununda önemli bir kısmı bitkinin terlemesi ile tekrar atmosfere verilir. Buharlaşma ve terleme olayının ikisine birden "Evapotranspirasyon" denir (Etr). Yerin altında toplanan ve yatay bileşeni daha büyük bir kuvvetin etkisi ile hareket halinde bulunan su, kireçtaşı ve bazalt gibi sert kayaların erime boşlukları ile kırık ve çatlaklarını; kum, çakıl vb henüz sıkılaşmamış veya kumtaşı, çakıl taşı vb gibi sıkılaşmış oluşumlarda taneler arası boşluğu doldurarak bir akifer oluşturur. Akiferde, yeraltı suyu bir çıkış yeri bulana kadar hareketine devam eder ve bu çıkış yerinden kaynak olarak tekrar yeryüzüne döner. Kaynaklar dere ve ırmakları oluşturur. Onlarda göl ve denizlerde toplanarak yeniden buharlaşma başlar ve hidrolojik devre tamamlanmış olur (Şekil 2.1) [Canik, 2003].

Akifer, suyu depolayan ve önemli miktarda ki suyu yeterli hızla kuyulara ulaştıran bir jeolojik birimdir. Akiferin özgül geçirgenlikleri 10^{-2} Darcy (1 darcy= $9.869233 \times 10^{-13} \text{ m}^2$) ve daha fazla bir değişim aralığı sunmaktadır. Sıkılaşmamış kum çakıllar, kumtaşları, kireçtaşları ve dolomitler, bazalt akıntıları, çatlaklı plütonik ve metamorfik kayalar akifer olarak bilinen kaya birimlerine örnektir. Basınçlı katman 10^{-2} Darcy'den az veya düşük özgül geçirgenlikli jeolojik birimdir [Afşin ve Kayabalı, 2004].

Kara yüzeyinden akiferin tabanına kadar uzanan yüksek özgül geçirgenliğe sahip malzemelerin oluşturduğu geniş yayımlı katmanlı akiferler, kara yüzeylerine yakın olabilirler. Böyle bir akifer su tablası akiferi veya serbest akifer olarak adlandırılır. Serbest akiferin beslenimi, doymun olmayan kuşaktan aşağıya doğru sızma ile gerçekleşir. Beslenim ayrıca, yatay yeraltı suyu akışı ile veya altta bulunan katmanlardan yukarı doğru sızma ile de olabilir [Afşin ve Kayabalı, 2004].

Basınçlı veya artezyen olarak anılan bazı akiferlerin üzerinde geçirimsiz bir katman yer almaktadır. Bu akiferler ya akiferin açığa çıkmış olduğu beslenme alanında yada sızdıran basınçlı bir akiferde aşağıya doğru yavaş sızdırma ile beslenmektedir [Afşin ve Kayabalı, 2004].

Yeraltı suyu mekanik, ısı ve kimyasal enerjiye sahiptir. Enerji miktarlarının uzaysal olarak değişimi sonucu, yeraltı suyu bu enerji farklılıklarını gidermek için yerin bir özelliği gereği bir bölgeden diğer bölgeye doğru hareket etmeye zorlanır. Bu nedenle, yeraltı suyunun akışı fizik ve termodinamiğin yasaları ile kontrol edilmektedir [Afşin ve Kayabalı, 2004].

2.2.1. Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

Akifer tabakanın su verim ve su tutum miktarı, akifer tabakayı meydana getiren kayacın gözeneklilik (porozite), geçirimsizlik (permeabilite) ve iletimsizlik (transmisivite) gibi hidrojeolojik özellikleri ile ilgilidir.

2.2.1.1. Gözeneklilik (porozite)

Gözeneklilik kayaçların içindeki boşlukların toplam hacmidir. Ölçüsü % olarak kayacın boşluk hacminin tüm hacmine oranıdır [Canik,2003].

Kayaç veya zeminin toplam birim hacmi V_T , katı kısmının hacmi V_s ve boşlukların hacmi de V_v olarak iki kısma bölünecek olursa gözeneklilik $n = V_v / V_T$ olarak tanımlanır. Köşeli ve yuvarlak parçacıklardan oluşan çakıl, kum ve siltler levhamsı kil minerallerden oluşan zeminlere göre daha düşük gözenekliliğe sahiptir. Gözenekliliğin hidrolik iletkenlik üzerinde etkisi büyüktür. Gözenekliliğin büyük olduğu yerlerde hidrolik iletkenlik de yüksektir [Kayabalı,2003].

2.2.1.2. Özgül verim- Özgül Tutum

Gözeneklilik, akifer tabakada ne kadar suyun depo edilebileceğini gösterir. Akiferdeki bu suyun hepsi yerçekimi etkisi ile yani pompajla alınmaz. Birim hacimdeki doygun bir akiferden yerçekimi etkisi ile kuyularda pompalama ile alınabilen suya akiferin özgül verimi denir. Özgül verime etkili gözeneklilik, efektif gözeneklilik veya depolama katsayısı da denir. Bu su, yerçekimine karşı moleküller çekim, adhezyon kuvveti ve kapillarite ile akiferde tutulur. Birim hacimdeki akiferde tutulan bu suya özgül tutum denir. Yüzde olarak ifade edilen özgül verim ve özgül tutum ilişkisi akiferi oluşturan formasyonun tane çapı ile ilgilidir.

2.2.1.3. Geçirimsizlik (Permeabilite)

Geçirimsizlik, gözenekli ve suya doygun kayaların, belirli bir hidrolik eğim altında suyu geçirme özelliğidir [Canik, 2003]. Darcy yasasının hidrolik iletkenlikle artık evrenselleşmiş olan oransallık sabiti sadece gözenekli ortamın bir fonksiyonu olmayıp, aynı zamanda akışkanın da bir fonksiyonudur [Kayabalı,2003].

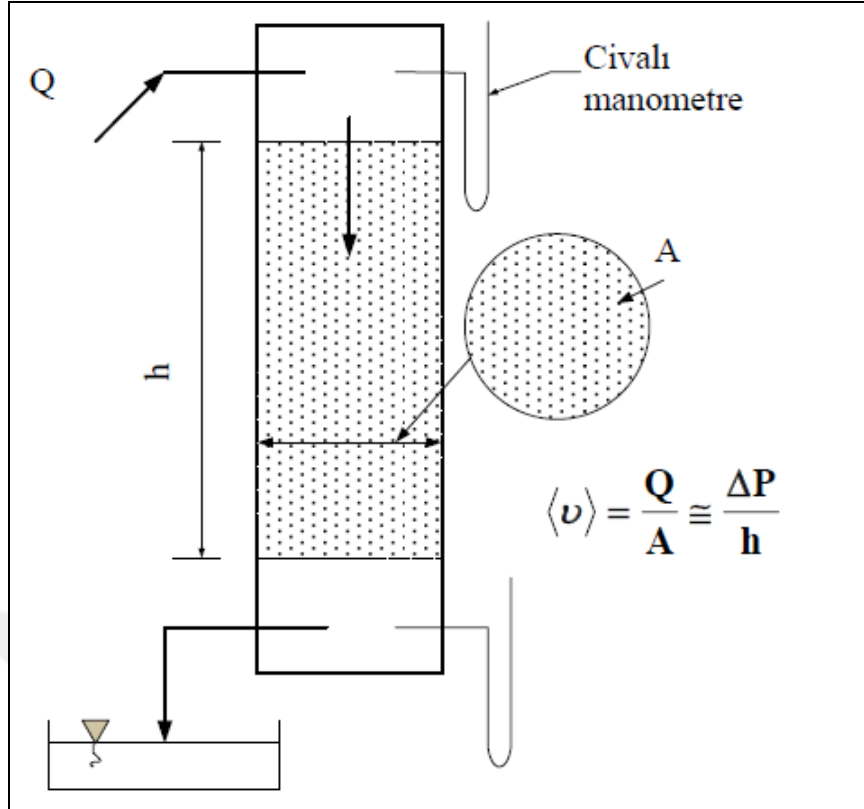
Darcy Yasası: hidrojeolojinin temel yasalarından biri olan bu yasa, Henry Darcy adında Fransız hidrolikçi tarafından 1856 yılında ortaya konulmuştur. Darcy, ilk defa gözenekli kayalar içinden suyun akımını deneysel olarak inceleyerek kendi adıyla anılan kanunu gerçekleştirmiştir.

Darcy'nin deney düzeneği, içinde kum bulunan A kesitli silindirik bir borudan ibarettir. Akış çok yavaştır ve silindirin üst kısmından giren su aşağı doğru kum taneleri arasından süzülerek iner. Akış daimi, gözenekli ortam özdeş ve akış tek yönlüdür (Şekil 2.2).

Darcy, deney sırasında akışkanın kum ile dolu kısmına girdiği sütunun üst ve çıktığı alt seviyelerindeki basınç farkı ile akışkan akışı arasında doğrusal bir ilişki olduğunu bulmuştur.

Bugünkü düzenlenmiş hali ile Darcy yasası aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$v = -\frac{K}{\mu}(\nabla P_a + \rho g) \quad (2.2)$$



Şekil 2.2. Darcy deney düzeneği [Baytaç,2006].

v Darcy hızı, ∇P_a akışkan kısmı içinde basınç değişim vektörüdür. K yöne göre özellikleri değişmeyen gözenekli ortamın geçirgenliğidir ve yöne göre özellikleri değişken olan bir gözenekli ortam için geçirgenlik ikinci derece tensördür. Son olarak μ ise akışkanın dinamik viskozitesini verir.

Darcy yasası sıkıştırılmaz ve akışkanlar içindir. Ayrıca hız çok yavaştır, Reynold sayısının büyüklük derecesi birden küçüktür ve akış tek yönlüdür. Bağntı ampirik bir bağntıdır ve yüksek akış hızlarında yani Reynold sayısının büyüklük derecesinin biri geçtiği durumlarda artık akışı modelleyemez. Çünkü Bağntı doğrusal bir denklemdir yani akışın doğrusal olmayan etkisini modelleyemez, denklemden viskoz etkiler de yer almaz ve en önemlisi katı sınırlar göz önüne alındığında sınırın sürtünme etkisini görmez [Baytaç,2006].

Gözenekli ortamın geçirgenliği olarak ifade edilen K değeri ile Darcy katsayısı arasında (2.3) 'deki eşitlikteki gibi bir bağıntı vardır;

$$K = \gamma / \mu \cdot k \quad (2.3)$$

Burada K Darcy katsayısı m/s, k geçirgenlik katsayısı m/s, γ suyun birim ağırlığı N/m^3 , μ suyun vizkozitesi ($N.s/m^2$) dir.

20 °C sıcaklıkta γ / μ değeri 0.993'e,

21 °C sıcaklıkta γ / μ değeri 1.018'e,

20.3°C sıcaklıkta γ / μ değeri 1.000'e eşittir.

O halde 20.3°C 'de yapılacak ölçümlerde bulunacak Darcy katsayısı, geçirgenlik katsayısı olarak alınabilir. Yani 20.3°C de $K=k$ dır. Darcy katsayısının değeri sıcaklıkla değiştiğinden laboratuvarında sıcaklık düzeltmesi yapmak gerekir [Canik, 2003].

2.2.1.4. Hidrolik yük ve akışkan potansiyeli

Akış ile ilgili fiziksel süreçlerin analizinde genellikle potansiyel eğimin bilinmesi gereklidir. Katılardaki ısı akışının yüksek sıcaklık derecelerinden düşük sıcaklık derecelerine ve elektrik akımının da devrelerde yüksek voltajdan düşük voltaja doğru olduğu bilinmektedir. Bu süreçler için sıcaklık derecesi ve voltaj potansiyel miktar olup, ısı ile elektrik akış oranları bu potansiyel eğimler ile doğru orantılıdır.

Hubbert (1940), potansiyeli "uzayda yöne bağımlı olmayan, akış miktarının yüksek değerlikli bölgelerden daha düşük değerlere doğru olduğu, akış sistemi içinde herhangi bir noktada ölçülebilen büyüklük" olarak tanımlamaktadır.

Gözenekli ortamlarda sıvı akışı mekanik bir süreçtir. Akışkanı hareket etmeye zorlayan kuvvetler, hareket halindeki akışkan ile gözenekli ortamın taneleri arasındaki sürtünme kuvvetlerinden büyük olmalıdır. Bu nedenle, akımla birlikte sürtünmeden dolayı mekanik enerjiden ısı enerjisine tersinmez bir dönüşüm gerçekleşir. Bu yüzden , uzaydaki akışın yönü akışkanın birim kütlesi başına mekanik enerjinin yüksek olduğu bölgelerden daha düşük olan bölgelere doğru olmalıdır. Burada, akış sisteminde herhangi bir noktada birim kütle başına mekanik enerji, akışkanın birim kütlesini bir noktadan diğerine taşımak için gerekli iş olarak tanımlanır. Açıkça görüldüğü gibi ,burada Hubbert'in (akışın yönü bakımından) potansiyel tanımına ve (yapılan iş bakımından) klasik tanıma uymayan bir fiziksel büyüklük ortaya çıkmaktadır. Gözenekli ortamdaki *akışkan potansiyeli* işte bu sebepten dolayı *akışkanın birim kütlesi başına mekanik enerjidir* [Kayabalı,2003].

Hidrolik eğim, akım yolu üzerinde birim mesafedeki yük kaybıdır. Yük kaybı Bernoulli denklemine göre bulunur. Bir akiferde hareket halindeki sıvı akılarının hızı sezilemeyecek kadar küçüktür (Şekil 2.4).

Akım borusunda sürtünme kuvveti yok kabul edilirse, borunun herhangi bir noktasındaki küçük bir akışkan prizmasındaki yük:

$$Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = H \quad (2.4)$$

Z: noktaların referans düzlemine göre yüksekliği veya potansiyel yükseklik-m

P: hidrostatik basınç (N/m²)

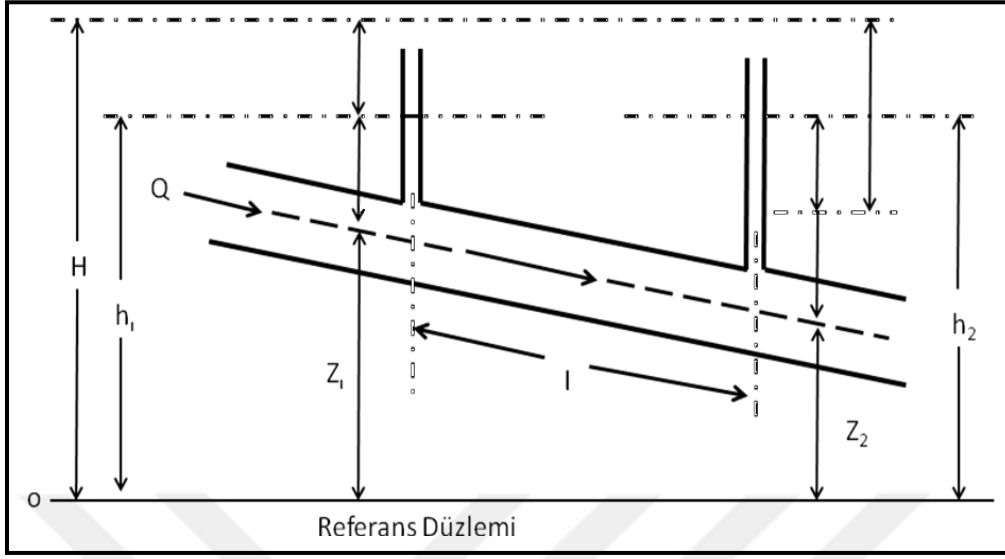
V: suyun akış hızı (m/s),

g: yerçekimi ivmesi (m/s²)

H: hidrostatik basınç veya enerji çizgisi yüksekliği (m)

P/ γ : suyun akım borusunda yükseleceği seviye yani basınç yüksekliği (m)

$V^2/2g$: hız yüksekliği (m) dir [Canik,2003].



Şekil 2.4. Hidrolik eğim [Canik,2003].

2.2.1.5. İletimlilik (Transmissivite)

İletimlilik, bir akiferin bütün kalınlığı boyunca düşey ve birim genişlikteki kesitten ,birim miktardaki yük kaybı altında (%100 lük bir hidrolik eğim altında) birim zamanda geçen su miktarıdır. T ile gösterilen iletkenlik katsayısı, akiferin geçirgenliği ile kalınlığının çarpımına eşittir [Kayabalı,2003].

$$-\frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} = 0 \quad (2.5)$$

$$T = K.e$$

T: İletkenlik katsayısı (m^2/s),

K: Geçirgenlik katsayısı (m/s),

e: Akiferin kalınlığı(m) [Canik,2003].

2.2.2. Yeraltı Suyu Akış Denklemleri

Akışın temel yasası Darcy yasasıdır. Bu yasa, gözenekli ortamdaki akış sırasında akışkan kütesinin korunumunu tanımlayan süreklilik eşitliği ile birlikte kullanıldığında ortaya çıkan sonuç , akışın kısmi diferansiyel denklemdir.

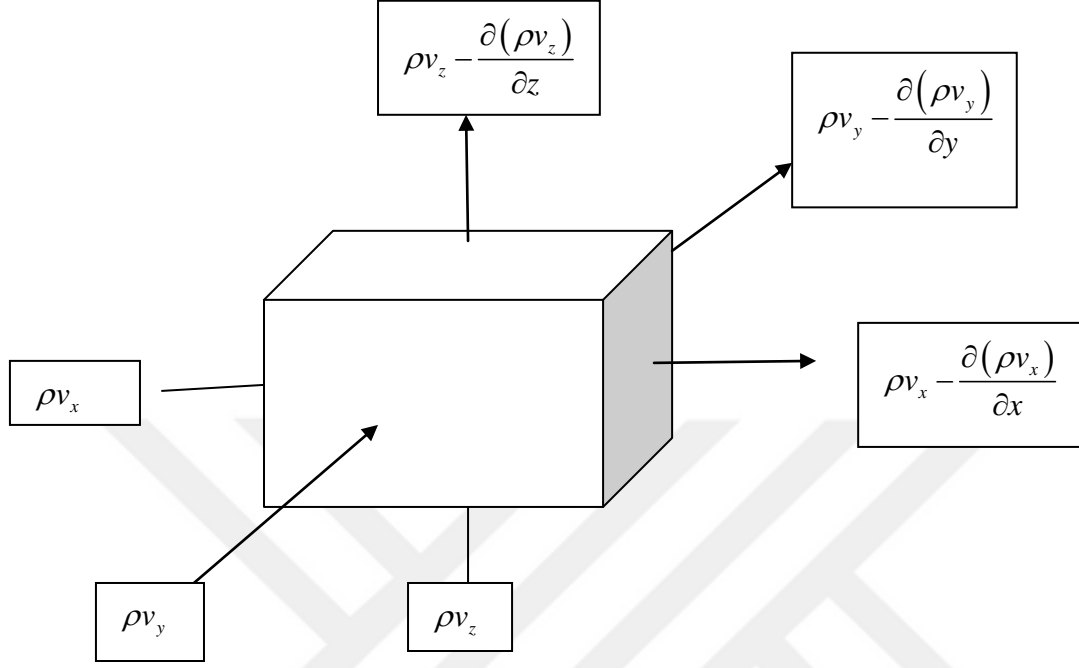
Dengeli akış, arazide herhangi bir noktadaki akış hızının büyüklük ve yönünün zamanla değişmediği durumdaki akışa verilen isimdir. *Dengesiz akışta* ise belirli bir noktadaki akış hızı büyüklüğü ve yönünün zamana göre değişimi söz konusudur [Kayabalı, 2003].

Dengeli Rejimde Doygun Akış

Doygun gözenekli ortamda dengeli akışın kütle korunumu yasasına göre, elementer kontrol hacmi içine giren su kütesi akış oranı birim kontrol hacminden çıkan suyun kütesi akış miktarına eşittir. Bu yasayı matematiksel forma dönüştüren süreklilik denklemini ; Şekil 2.5 göz önüne alınarak;

$$-\frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} = 0 \quad (2.6)$$

şeklinde yazılabilir. ρv terimleri için bir boyut analizi yapılacak olursa, bunların boyutunun birim kontrol hacmindeki birim kesit alanı boyunca akış kütle oranının boyutu olduğu görülür [Kayabalı, 2003].



Şekil 2.5. Gözenekli ortamdaki akış için birim kontrol hacmi [Kayabalı,2003].

Eğer akışkan sıkışmaz kabul edilirse, $\rho(x,y,z)=\text{sabit}$ olur ve bağıntıdaki ρ terimleri iptal edilir. Akışkan sıkışabilir ve $\rho(x,y,z) \neq \text{sabit}$ bile olsa $\rho \partial v_x / \partial x$ formundaki terimlerin $v \partial \rho / \partial x$ formundaki terimlerden çok büyük olduğu gösterilebilir. Bu iki durumda da eşitlik;

$$-\frac{\partial(v_x)}{\partial x} - \frac{\partial(v_y)}{\partial y} - \frac{\partial(v_z)}{\partial z} = 0 \quad (2.7)$$

sade şekline dönüşür. Yukarıdaki 2.7 'deki eşitlikte v_x, v_y, v_z yerine Darcy yasası uygulanırsa anizotrop ve doymun gözenekli ortamdaki dengeli rejimin akış denklemi elde edilir:

$$\frac{\partial \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right)}{\partial y} + \frac{\partial \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right)}{\partial z} = 0 \quad (2.8)$$

İzotrop ortamda $K_x = K_y = K_z$ 'dir. Ortam bir de homojen ise $K(x,y,z)=\text{sabittir}$. Eşitlik bu durumda homojen, izotrop ortamdaki dengeli akım rejimi olur:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right] = C\psi \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (2.10)$$

2.10 nolu eşitlik matematikçiler için en temel kısmi diferansiyel denklem olup, *Laplace denklemi* olarak adlandırılır. Denklemin çözümü, üç boyutlu bir akış alanında herhangi bir noktadaki hidrolik yükün değeri tanımlayan $h(x,y,z)$ nin bir fonksiyonudur. Denklemin çözümüyle h 'nin konturlu eşpotansiyel yüzeylerini elde edebiliriz. Bunlara akış çizgileri eklenmek suretiyle de akım ağı oluşur. İki boyutlu bir akış alanında dengeli, doymun bir akışta sözgelimi xz düzleminde yukarıdaki denklemin ortadaki terimi düşer ve çözüm $h(x,z)$ 'nin bir fonksiyonu olur [Kayabalı, 2003].

Dengesiz Rejimde Doymun Akış

Doymun gözenekli ortamda dengesiz rejimdeki akışta kütlenin korunumu yasasına göre, birim kontrol hacmine giren akışkan kütlesi akışın net miktarı, elemandaki akışkan kütlesi depolanmasındaki değişimin zamansal miktarıdır. Süreklilik denklemi, Şekil 2.5 baz alınarak;

$$\frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} = \frac{\partial(\rho n)}{\partial t} \quad (2.11)$$

şeklını alır.

2.11 nolu eşitliğin sağ tarafı açılacak olursa,

$$-\frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} = n \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \frac{\partial n}{\partial t} \quad (2.12)$$

elde edilir.

ρ 'daki değişim ve n 'deki değişimin ikisinin de hidrolik yük h 'daki değişim ile meydana gelir ve ayrıca yükteki birim azalış için bu iki mekanizma ile üretilen suyun hacmi S_s dir. Burada S_s özgül depolama olup, üretilen suyun kütle oranı; $\rho S_s \frac{\partial h}{\partial t}$ 'dir. Buna göre 2.12 nolu eşitlik;

$$-\frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} = \rho S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.13)$$

olur.

Darcy yasasını eşitlikte yerine koyduğumuzda;

$$\frac{\partial \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right)}{\partial y} + \frac{\partial \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right)}{\partial z} = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad , \quad (2.14)$$

formunu elde ederiz. Doygun , anizotrop ortamdaki dengesiz akış denklemi budur. Ortam homojen ve izotrop olursa eşitliği,

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S_s}{K} \frac{\partial h}{\partial t} \quad , \quad (2.15)$$

şekline indirgenir.

Ya da , S_s açılarak aşağıdaki şekli alır:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{\rho g (\alpha + n\beta)}{K} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.16)$$

2.16 nolu eşitlik difüzyon denklemi olarak bilinir. $h(x,y,z,t)$ çözümü akış alanında herhangi bir noktada herhangi bir zamandaki hidrolik yük değerini verir. Çözüm için gerekli üç hidrojeolojik parametre K , α (akışkanın sıkışabilirliği) ve n ; akışkan parametreleri ρ ve β (sıvının sıkışabilirliği)'dir. Kalınlığı b olan basınçlı yatay akifer özel durumu için $S=Ss.b$ ve $T=K.b$ 'dir. ve Eşitliğin iki boyutlu formu;

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (2.17)$$

şeklini alır.

$h(x,y,t)$ çözümü akış alanında yatay akiferde yatay düzlem üzerinde herhangi bir noktada herhangi bir zamandaki hidrolik yük değerini verir. Çözüm için akifer parametreleri S ve T ' nin bilinmesi gereklidir [Kayabalı,2003].

Dengesiz Rejimde Doygun Olmayan Akış

Doygunluk derecesini $\theta' = \theta / n$ olarak tanımlayalım. Burada θ su içeriği ve n gözenekliliktir. Sadece kısmen doygun bir elementer kontrol hacmindeki akışta, süreklilik denklemi; su içeriği eğişiminin zamansal miktarı ile, sıkışan akiferde su genişlemesine bağlı olarak oluşan depolama değişiminin zamansal miktarını göstermelidir. Yani eşitliklerde ki ρn terimi yerine, $\rho n \theta'$ olmalıdır [Kayabalı,2003]. Böylece;

$$-\frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} = n \theta' \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \theta' \frac{\partial n}{\partial t} + n \rho \frac{\partial \theta'}{\partial t}, \quad (2.18)$$

olur.

Doygun olmayan akışta yukarıdaki eşitliğin sağ tarafındaki ilk iki terim üçüncü terimden çok küçüktür. Bu iki terimi ihmal edip genelde olduğu gibi iki taraftaki ρ 'ları devre dışı bırakırsak, doygun olmayan akış için Darcy yasası

eşitliğini denklemde yerine koymak suretiyle ve $nd\theta' = d\theta'$ olduğundan sonuç aşağıdaki gibi olur;

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[K(\psi) \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K(\psi) \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\psi) \frac{\partial h}{\partial z} \right] = \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (2.19)$$

2.19 nolu eşitliğin sağ tarafının pay ve paydasını $\partial\psi$ ile çarparsak, Özgül nem kapasitesi $C = d\theta / d\psi$ tanımından ve $h = \psi + z$ den ;

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right] = C\psi \frac{\partial \psi}{\partial t}, \quad (2.20)$$

eşitliğini elde ederiz.

Bu eşitlik, doymun olmayan gözenekli ortamdaki dengesiz akışın ψ (basınç yükü)'ye dayalı denklemidir. Bu eşitliği ilk kez geliştiren toprak fizikçisinin onuruna *Richard denklemi* olarak anılır. $\psi(x,y,z,t)$ çözümü, akış alanında herhangi bir noktada herhangi bir zamandaki basınç yükü alanını tanımlar [Kayabalı,2003].

2.3. YERALTI SUYU KİRLENMESİ

Yeraltı suyu kirlenme kabusu sanayileşmiş, varoş ve kırsal bölgelerin üzerine bir karabasan gibi ortaya çıkmaktadır. Yeraltı suyu kirlenmesi konusunda çok sayıda kirlenici kaynağı bulunmaktadır. Bir bölgede ki yeraltı suyunun kirlenmesinin yayılımı kirlenicinin özelliğine ve bölgenin hidrojeolojisine bağlıdır. Jeolojik birimle etkileşime girmeyen kirleniciler etkileşime girenlerden daha ileriye giderler. Kirlenme, yeraltı suyu hızının çok büyük olduğu yerdeki geçirimli

birimlerle daha uzaklara ulaşabilir. Kirletilmiş yeraltı suyu çoğu zaman kaynaktan birkaç bin metre den fazla uzağa hareket etmemektedir. tek bir kaynak olduğunda kirlenme yerel olabilir. çoklu kaynak olduğunda veya kirlenmenin geniş kapsamlı bir arazi kullanımına bağlı olduğu durumda, kirlenme geniş bir bölgeyi kaplayabilir [Afşin ve Kayabalı, 2004].

Yeraltı suyu kirlenmesi tersinir olmayan bir süreç değildir. Belirli doğal şartlar kirleticileri uzaklaştıracak şekilde hareket ederler. Konsantrasyonları azaltma mekanizmaları, seyreltme, dispersiyon, mekanik filtrasyon, uçucu hale gelme, biyolojik aktivite, zemin partikül yüzeylerinde iyon değişimi ve adsorpsiyon ile radyoaktif çürümedir [Afşin ve Kayabalı, 2004]. Yeraltı suyu kirletici kaynakları fosseptikler, düzenli atık depolama alanları, kimyasal madde dökülmeleri ve yeraltı tanklarından sızma, madencilik ve tarımsal faaliyetler olarak sıralanabilir.

2.3.1. Yeraltı Suyunda Kirletici Taşınım ve Yayılım Mekanizmaları

Yeraltı su kaynaklarının korunması ve iyileştirilmesi, yüzeydeki kirleticilerin taşınımı ve yayılımını etkileyen proseslerin anlaşılmasını gerektirir.

Bu prosesler (1) yüzey suları, kuyu suları veya gözlem kuyuları gibi alıcı ortama kirleticinin varış süresi ve varış konsantrasyonunun tahmini, (2) Kaynağın korunmasında, güvenli atık yönetim tesisleri ve maliyetinin dizaynı, (3) Etkili izleme sisteminin kurulması, (4) Kirletilmiş akiferlerin iyileştirme için verimli ve maliyet-etkin stratejilerin geliştirilmesine olanak sağlar [EPA, handbook].

Kirleticiler yeraltı suyunda, ilk olarak hidrolik eğimin izin verdiği yönde yatay olarak hareket edecektir. Kirleticilerin konsantrasyonu, dispersiyon (moleküler ve hidrodinamik) ,filtrasyon, sorpsiyon, çeşitli kimyasal prosesler,

mikrobiyal yıkım, kirleticinin zamana bağlı salınımı, ve seyahat mesafesi ile azalacaktır.

Sorpsiyon, kimyasal prosesler ve yıkım (parçalanma) gibi prosesler kirleticili tipine göre etkileri değişkenlik gösterirken , hidrodinamik dispersiyon gibi prosesler her tür kirleticiliyi eşit oranda etkiler.

Yeraltı suyu içinde kirleticilerin hareketini ve kirleticili bulutunun (plume) davranışını etkileyen karmaşık faktörler nedeniyle kontrol etmek oldukça zordur. Kirleticili taşınımı ve davranışı hakkında ki öngörmelerde sadece tahminler kullanılır ve modelleme taşınım ve davranışı etkileyen çeşitli faktörleri birleştiren araç olarak kullanılmaktadır [EPA, handbook].

Adveksiyon ve dispersiyon prosesleri , kirleticilerin belirlenen bir kaynağa taşınım sürecini belirleme de kullanılan önemli proseslerdir.

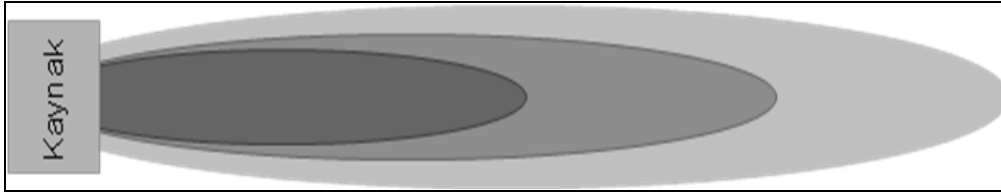
Adveksiyon

Adveksiyon , ortalama yeraltı suyu hızı ile konservatif /konservatif olmayan kirleticilerin taşınımını tanımlar. Ortalama lineer hız, (1) yeraltı suyu akım yönünde , yeraltı jeolojik formasyonun hidrolik iletkenliği, (2) Formasyonun gözenekliliği, (3) yeraltı suyu akım yönünün hidrolik eğimine bağlıdır. Kirleticilerin hızı , yağış/çözünme, yeraltında ki formasyonla adsorpsiyon yada paylaşım reaksiyonları ile yeraltı suyunun ortalama hızından farklı olabilir [EPA, handbook].

Adveksiyon , Darcy eşitliği sonucu olup vektörelidir. Herhangi bir zamanda akış mesafesi yada akım hızını tanımlama da kullanılır. Adveksiyon genel olarak, kütle taşınımını etkilemektedir. Adveksiyonun yönü ve büyüklüğü ; akım alanının eğimine, akım alanı içinde hidrolik iletkenliğe, su tablasına ve kirlenici kaynağının tipine bağlıdır [Merkel ve Friedrich, 2002].

Dispersiyon

Akiferde kirlenicinin dispersiyonu , akış yolu boyunca konsantrasyonunda artış ve azalmalara sebep olmaktadır. Dispersiyon : (1) moleküler difüzyon (sadece çok düşük hızlarda önemli), (2) hidrodinamik karışım (gözenekli ortam içinde lineer akışta yüksek hızlarda ortaya çıkar). Hidrodinamik dispersiyon nedeniyle gözenekli ortam içerisinde belirli bir noktaya , daha kısa bir akış yolu veya daha yüksek bir hızda hareket eden kirlenici maddeler, daha uzun bir yol izleyen ya da daha düşük bir hızda yol alan kirlenicilere nazaran daha erken ulaşırlar.



Şekil 2.6 .Yeraltı suyunda oluşan kirlenici bulutu (plume).

Şekil 2.6 'da, sürekli bir kirlenici kaynağından akım aşağı, konik kirlenici bulutu, dispersiyon ile kirlenicinin (yeraltı suyu akım yönünde) boyuna ve (yeraltı suyu akım yönüne dik olarak) enine dağılmasının sonucunda meydana gelmektedir. Kirlenici konsantrasyonu oluşan konik kirlenici bulutunun merkezinde en yüksek seviyededir. Kirlenici bulutunun boyutu, dispersiyonun yeraltı suyu akım yönünde etkisiyle zamana bağlı olarak artacaktır [EPA, handbook].

Dispersiyon katsayısı, yeraltı suyu akım hızı ile değişkendir. Düşük akım hızlarında, dispersiyon katsayısı nispeten sabit olmakla birlikte, yeraltı suyunun hızının artması ile lineer olarak artar. Araştırmacıların yaptıkları gözlemlere dayanarak, dispersiyon katsayısı, moleküler difüzyon katsayısı ve mekaniksel dispersiyon katsayısının etkisinde olduğunu açıklamışlardır. Etkili moleküler difüzyon katsayısı, çözeltinin (sıvı fazın) difüzyon katsayısının bir fonksiyonudur ve ortamın homojenliğine bağlıdır. Mekanik dağılım katsayısı hızı ile doğru orantılıdır. Mekanik dispersiyon; (1) bir gözenek içinde hız varyasyonları, (2) farklı gözenek geometrileri (3) gözenekli bir ortam içinde kum taneleri çevresinde akış hatları sapmanın bir sonucudur.

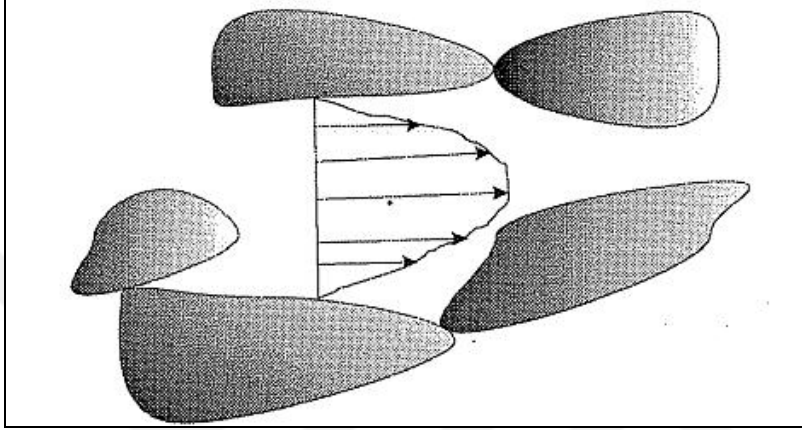
Dispersivite terimi genelde, dispersiyon ile karıştırılır. Dispersivite hız ile ilgili değilken, Dispersiviteyi dispersiyona çevirmek için yeraltı suyu hızı ile çarpılması gereklidir. Dispersiyon akifer alanının spesifik hız parametrelerine ve gözenek alanının yapısına (biçimine) bağlı olduğundan, dispersiyon katsayısı belirlenirken her akifer için deneysel yada gözlemsel olarak belirlenmelidir [EPA, handbook].

Dispersiyon, akiferin yapısı ve geometrisinden kaynaklanan hız farklarının sonucunda, kirlenici kütlelerinin akımını tanımlar [Merkel ve Friedrich,2002].

Adveksiyon-Dispersiyon Eşitliği

Adveksiyon mekanizmasından farklı olarak, hidrokinamik dispersiyon, kirlenici konsantrasyonuna sahip yeraltı suyu ile akiferin yeraltı suyu bileşiminin karışım sürecini tanımlamaktadır. Adveksiyonun ilkeleri, akım bölgesindeki tüm yeraltı suyu hacminin çözünmüş bileşeni taşıması ve yeraltı suyunun akiferin iki noktası arasında doğrusal yol izlemesidir. Akiferi oluşturan taneler arasında akışın ortalama yeraltı suyu sızma hızı ile hareket ettiğini kabul etmek her kirlilik problemi için geçekçi değildir Adveksiyondan farklı olarak, hidrokinamik

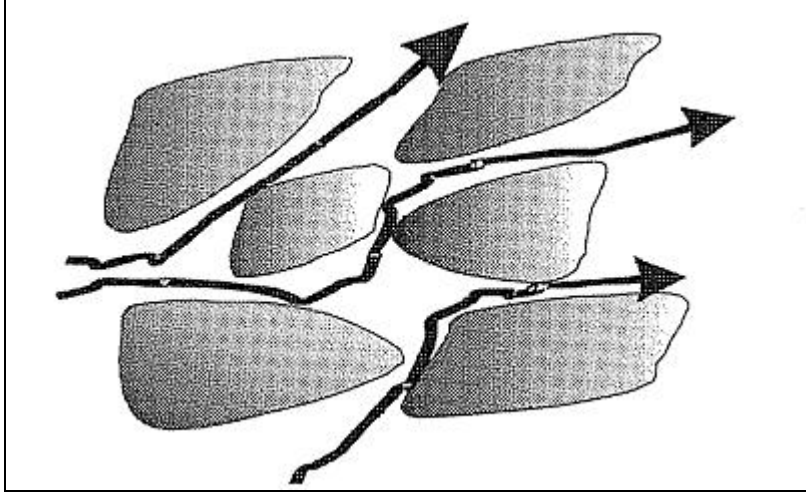
dispersiyon farklı iki fiziksel gerçeğe dayanmaktadır. Hidrodinamik dispersiyonunu fiziksel dayanaklarından birisi, akiferin taneleri arasındaki boşluğun boyutlarının gözenek sistemi içinde değişmesine dayanmaktadır. Taneler arasındaki akış iki plaka arasındaki akışa benzetilebilir (Şekil 2.6) [Ertekin ve Tarcan, 2003].



Şekil 2.6. Taneler arası hız dağılımı [Ertekin ve Tarcan, 2003].

Taneler arası boşluğun boyutları gözenek sistemi içerisinde oldukça değişiklik göstereceğinden hız dağılımı da noktadan noktaya farklı olacaktır, yeraltı suyun taşıdığı çözülmüş bileşen farklı hızlarda hareket edecektir .

İkinci mekanizma Şekil 2.7'de gösterildiği gibi suyun tane boşlukları arasında rastgele yollar izlemesidir. Bu fiziksel olay turtozite olarak tanımlanır.



Şekil 2.7. Turtozite etkisi [Ertekin ve Tarcan, 2003].

Akiferdeki gözenek sistemini bütünüyle tanımlayamayacağımızdan, kirlenici turtozite nedeniyle , rastlantısal olarak dağılacaktır [Ertekin ve Tarcan, 2003].

Adveksiyon -Dispersiyon eşitliği, bir akifer de kirlenicinin kütle dengesini ifade etmek için kullanılır. Kirlenici kütle dengesini etkileyen olaylar; dispersiyon, adveksiyon ve depolama katsayısıdır.

Kütle dengesi, dağılım katsayısı, yeraltı suyu hızı, kirlenici madde konsantrasyonu, mesafe ve zamanın bir fonksiyonudur.

Adveksiyon-Dispersiyon eşitliği, üç boyutlu dispersiyon katsayılarını kullanarak , akiferde kirlenicinin üç boyutlu taşınımını tanımlamak için de kullanılır.

Laboratuar ve arazi de yapılan deneyler ile elde edilen veriler adveksiyon-dispersiyon eşitliğine konulduğunda arasında farklılıklar olduğu görülmüştür. Bu farklılıklar; (1) akifer içindeki hareketsiz su zonları (bölgeleri), (2) çözelti (sıvı)-katı arası olaylar, (3) anyonların tutunamaması, (4) agregalar arasındaki difüzyondan kaynaklandığı tespit edilmiştir.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -U \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(D \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad (2.21)$$

C: kirlenici konsantrasyonun (mg/L),

t: zaman ,

U: yeraltı suyu akım hızı (m/s),

D: hidrodinamik dispersiyon katsayısı (m²/s)

Bu denklem;

(1) Reaksiyona girmeyen bir kirlenicinin 1 boyutlu taşınımını temsil eden temel denklem

(2) Bu denklem çeşitli başlangıç ve sınır şartları altında çözülebilir

(3) Elde edilen çözümler su ortamında ki madde konsantrasyonlarının , zaman ve konuma göre hesaplanmasında kullanılır [EPA, handbook].

Retardasyon (gecikme)

Kirleniciler, konservatif veya reaktif olarak ikiye ayrılırlar. Konservatif kirleniciler, zeminle veya yeraltı suyu ile reaksiyona girmezler , biyolojik /radyoaktif bozunmaya uğramazlar. Özellikle kil gibi katuların yüzeyleri izomorf yer değiştirme, kopmuş bağlar veya kafes eksiklikleri nedeniyle elektriksel yüke sahiptir. Bu elektriksel yük dengesiz olup, yüklü iyon adsorbe edilerek dengesizlik giderilebilir. Adsorpsiyon oransal olarak zayıf , esasen van der Waals kuvvetleriyle etkilenen fiziksel bir süreçtir.

Kil minerallerinin çoğunun kristal kafeslerinde dengesiz aşırı negatif yük bulunur. Bu yüzden zeminlerdeki adsorplayıcı süreçler katyonların adsorplanması için uygundur. İki değerlikli katyonlar genellikle tek değerlikli katyonlardan daha kuvvetli şekilde adsorplanırlar. Her ne kadar bazı pozitif yüklü iyonlar bulunsada, bunlar negatif yüklü alanlar kadar bol değildir. Ayrıca, bikarbonat, sülfat ve nitrat gibi bazı yaygın negatif yüklü anyonlarda adsorbe olabilmek için çok büyüktür.

Retardasyon, taşınımında kirlenici konsantrasyonunun azalmasına sebep olur. Yeraltı suyunda kimyasalların taşınımında genelde akifer materyaline sorpsiyonu etkilidir. Sorpsiyon, akifer sedimentinde kimyasal bileşimin kütleli değişimine sebep olmaktadır.

x yönünde $\left(\frac{\partial c}{\partial t}\right)$, kimyasal konsantrasyonunda ki değişimleri $\left(\frac{\partial c}{\partial x}\right)$ konsantrasyon gradyanında yerdeğişimlerine sebep olur. Adsorplanan yada desorplanan miktarı tahmin edebilmek için;

$$\left(\frac{\partial c}{\partial t}\right)_x = -v\left(\frac{\partial c}{\partial x}\right)_t - S \quad (2.22)$$

S: Kimyasalın adsorpsiyonu/desorpsiyonu sonucu adsorplanan konsantrasyon ile ilgilidir.(mg/kg kuru toprak)

Adsorbe olan kimyasal konsantrasyonu Henry kanunu ile ilişkilendirilirse;

$$\frac{S}{C} = K'_d \quad (2.23)$$

K'_d , dağılım katsayısı

C, sudaki konsantrasyon

Uygulamada $K'_d > 0$ ise, bazı kimyasallar topraktaki yada sedimentteki katı partiküllere adsorbe olabileceğini gösterir.

Dağılım katsayısı farklı birimler içindeki konsantrasyonlar ile ilişkilendirilebilir fakat aynı birimler için daha uygundur. Çünkü adsorpsiyon miktarı çözeltideki konsantrasyon yada tam tersi ile ilişkili olduğu açıkça ortadadır. Toplam hacim üzerindeki tüm konsantrasyonu ifade edebilmek için en kolay yoldur [Appelo, Postma, 1996].

Gözenek suyu konsantrasyonu porozite (ϵ) ile ve sorbe olan konsantrasyon sedimentin bulk density (ρ_b) ile çarpılmalıdır. Ve adsorbe olan konsantrasyonun net sonucu $\frac{\rho_b}{\epsilon}$ ile çarpılması ile açıklanabilir. K'_d aşağıdaki formüle göre boyutsuz olarak ifade edilir;

$$K'_d = \frac{\rho_b}{\epsilon} \frac{S}{C} = \frac{q}{C} \quad (2.24)$$

q, adsorplanan konsantrasyon(mg/L)

$$R = 1 + \frac{\rho_b}{\epsilon \cdot K'_d} \quad (2.25)$$

R, retardasyon faktörü

Sedimente adsorplanan kimyasalların hızı, gözenek suyu akım hızından daha düşüktür. K_d değerinin yüksek olduğu zamanlarda, retardasyon değeride yükselir. Çünkü, adsorpsiyon gerçekleşeceği yüzeylerin tamamen kirleticili ile dolması gereklidir. Retardasyon faktörü, kirleticilerin taşınımı modelinde

kullanılmaktadır. Sedimente sorbe olan kimyasal kirlenicilere ağır metaller veya bazı organik maddeleri örnek verebiliriz [Appelo, Postma,1996].

2.4. YERALTI SUYU MODELLERİ

Modelleme, bir sistemin başka bir deyişle doğal sistemin , değişkenlerinin uzayda ve zamanda değişebildiği matematiksel ifadelerle anlatımı; kavramlarla belirtilmiş süreçlerin matematiksel olarak tanımlanması ayrıca matematiksel çözümünün elde edilmesidir. Simülasyon ise matematiksel çözümün bilgisayar ve yazılımlar ile yapılabilmesidir [Ertekin ve Tarcan, 2003].

Modeller, bir projenin planlanmasına hizmet veren, gerçek-karmaşık sistemlerin etki- tepki davranışlarını benzeştiren (simüle eden) araçlardır [Zheng ve Wang, 1999]. Bir bölgeye ait yeraltı suyu benzeşim modeli oluşturulmasının amacı uzun süreli yeraltı suyu yönetim stratejileri geliştirebilmektir [Shakia ve Adeleyeb, 2007].

Oluşturulan tüm modeller yeraltı suyu akım modeli ile başlarlar. Modele başlanmadan önce akiferin fiziksel konfigürasyonu (akiferin yeri, kalınlığı, yüzey su kütleleri ve akarsuların lokasyonları ve tüm akiferin sınır Şartları), akiferin önemli hidrolik özellikleri (geçirgenlik, depolama katsayısı, akiferler ile yüzey su kütleleri arasındaki hidrolik bağıntı) bilinmelidir [Afşin ve Kayabalı, 2004].

Akım modelleri toprakta yada doymun olmayan zonda akış ile doymun zonda ki yeraltı suyu akımının sonucu olarak yeraltı suyu hızını yada potansiyelini gösterir. Taşınım modelleri, dispersiyon , adveksiyon, retardasyon (gecikme) ve parçalanma (yıkım) olayları ile bağlantılı olarak kirlenicinin taşınımının modellenmesinde kullanılır.

Yeraltı sularından yapılan kontrolsüz aşırı çekimler yeraltı suyu seviyelerinde önemli düşmelere sebep olduğu için birçok araştırmacı matematiksel modeller yardımıyla yeraltı suyu akımını incelemiştir.

Modellemeye başlamadan önce, kavramsal modelinin oluşturulması gerekmektedir. Kavramsal modeller statik olup, bunlar bir sistemin mevcut durumunu tanımlarlar.

Gelecekteki davranışın kestirimlerini yapmak için, elle yönetilebilen dinamik model türüne sahip olmak şarttır. Yeraltı suyu akışının çok sayıda dinamik model türü bulunmaktadır. Bunlar, fiziksel ölçek modelleri, analog modelleri ve matematiksel modellerdir [Afşin ve Kayabalı, 2004].

Bir ölçek modeli doğal sistemdekine benzer malzemelerde yapılır. Örneğin, ölçekli olarak bir plastik kap imal edilebilir ve gerçek akifer malzemesinin hidrolik iletkenliğine uygun olarak ölçeklendirmek suretiyle , kum veya cam boncuklarla doldurulabilir. Gözlemcinin akışı izleyebilmesine yardım etmek üzere suya boya eklenir. Basınç , duvarlara tutturulmuş piyezometre ile ölçülür. Model akifere beslenimi benzeştirmek için su eklenebilir [Afşin ve Kayabalı, 2004].

Matematiksel modeller yeraltı suyu akışı,ısı akışı ve kütle taşınımına ilişkin temel eşitliklerin çözümüne dayanmaktadır. Yeraltı suyu akışının en basit matematiksel modeli Darcy yasasıdır. Darcy yasasını uygulamak ve akifer sisteminin fiziksel özelliklerine ait verileri geliştirmek için akiferin kavramsal modeline sahip olmamız gerekir. Darcy yasası analitik modelin bir örneğidir. Bu analitik modeli çözmek için , akış probleminin başlangıç ve sınır şartlarını bilmemiz gerekir.

Analitik modeller programlanabilir hesap makinesi veya kişisel bir bilgisayar üzerindeki hesap tablosu ile hızlı, doğru ve masrafsız olarak çözülebilir. Parametrenin tüm bölümlerinin aynı değeri vermesi nedeniyle en az veri miktarına ihtiyaç duyulur [Afşin ve Kayabalı, 2004].

Karışık sınır şartları olduğunda veya model alanında parametrelerin değerinin değiştiği yerde sayısal modellerin kullanılması gerekir. Akış, ısı ve kütle taşınımını eşitliklerinin sayısal çözümlerinin cebrik şekilde yeni bir biçime sokulması gerekir. Yeni biçime sokulan bu eşitlikler yaygın olarak matris şeklinde olup ,dijital bilgisayarlarda çözülür [Afşin ve Kayabalı, 2004].

Stokastik yeraltı suyu modelleri istatistiksel teorilere dayalıdır.Çözünen taşınım problemlerinin yanı sıra ısı ve hız alanlarının tanımlanmasında kullanılır [Afşin ve Kayabalı, 2004].

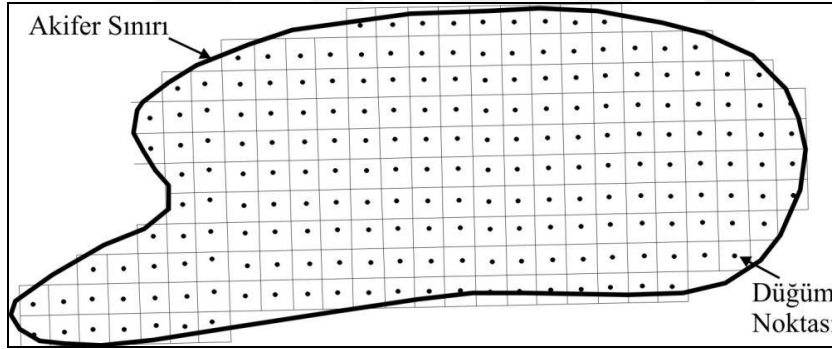
2.4.1. Kavramsal Model

Kavramsal model, model uygulamasının özel hedefleri ile ilgili ifadelerden ve bu hedeflerin nasıl başarılacağını açıklayan hipotezlerden oluşur. Gerçekçi ve kabul edilebilir bir kavramsal modelin formülasyonu bir model uygulamasındaki en önemli adımdır. Bir yeraltı suyu akım modelinde akiferin sahip olduğu akımların yönü, miktarı, hızı gibi hidrodinamik özelliklerin tespit edilmesi oldukça güçtür. Bunun için geliştirilecek olan modelden elde edilecek veriler ışığında bu kaynakların doğru yönetilebilmesi için de bir bütün olarak ele alınan (beslenim, boşalım, suyun kalitesi, vb.) parametreler bir araya getirilerek kavramsal modeller oluşturulmaktadır. Başarılı bir kavramsal model, akiferin iyi yönetilebilmesinin temelini oluşturur [Senthilkumar, Elango, 2004].

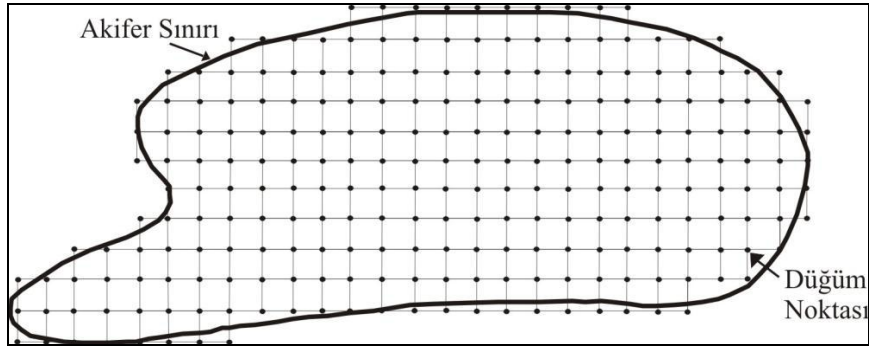
2.4.2. Grid Tasarımı

2.4.2.1. Sonlu farklar grid yapısı

Sonlu farklar (finite difference) grid yapısı, sistemin hürelere bölümlendirilmesiyle oluşturulur. Her bir hücrenin merkezi bir düğüm noktası (nod) oluştururken hücreler birbirlerinden grid çizgileriyle ayrılırlar. Her bir hücre için sistemi ifade eden diferansiyel denklemler geliştirilir. Sayısal yöntemler, zamansal ve mekansal bir ayrımı gerektirmektedir. Sonlu farklar yönteminde diferansiyel bölümler fark bölümleri ile yer değiştirir ve akifer dörtgen ağ ile bölümlenir. Burada başlıca 2 çeşit ağ söz konusudur. Bunlar blok merkezli ağ ve kafes merkezli ağdır. Şekil 2.8.'de blok merkezli sonlu farklar noktalar ağını, Şekil 2.9'da kafes merkezli sonlu farklar noktalar ağını gösteren Şematik görünüm sunulmuştur.



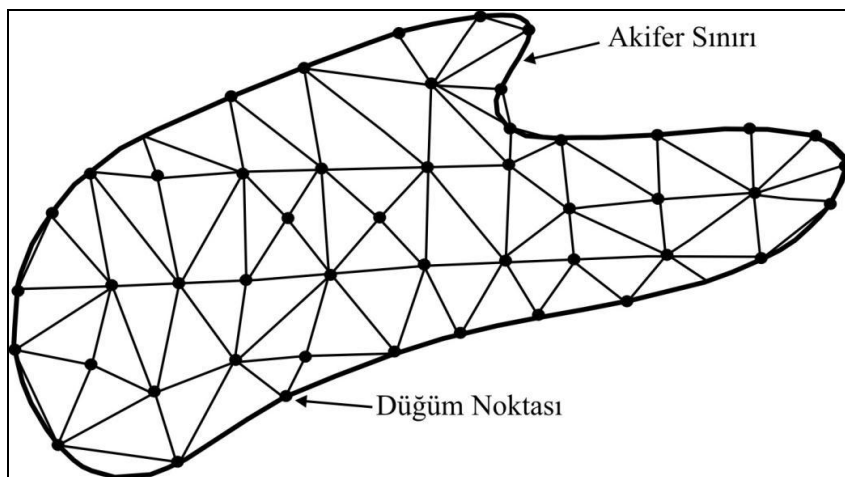
Şekil 2.8. Bir akiferi kapsayan blok merkezli sonlu farklar noktalar ağı [Afşin ve Kayabalı, 2004].



Şekil 2.9. Bir akiferi kapsayan kafes merkezli sonlu farklar noktalar ağı [Afşin ve Kayabalı, 2004].

2.4.2.2. Sonlu elemanlar grid yapısı

Sonlu elemanlar (finite elements) grid yapısını oluştururken heterojenite etkisini gidermek için sistem elementlere ayrılır ve bunlar genelde üçgenlerden oluşur. Her element üç düğüm noktası (nod) ile tanımlanır. Sonlu elemanlar yönteminin sonlu farklar yönteminden farkı, çözümlerin integrallere dayandırılmalarıdır [Zheng ve Wang, 1999, Afşin ve Kayabalı, 2004]. Şekil 2.10'da sonlu elemanlar noktalar ağını gösteren şematik bir görünüm sunulmuştur.



Şekil 2.10. Bir akiferi kapsayan sonlu elemanlar noktalar ağı [Afşin ve Kayabalı, 2004].

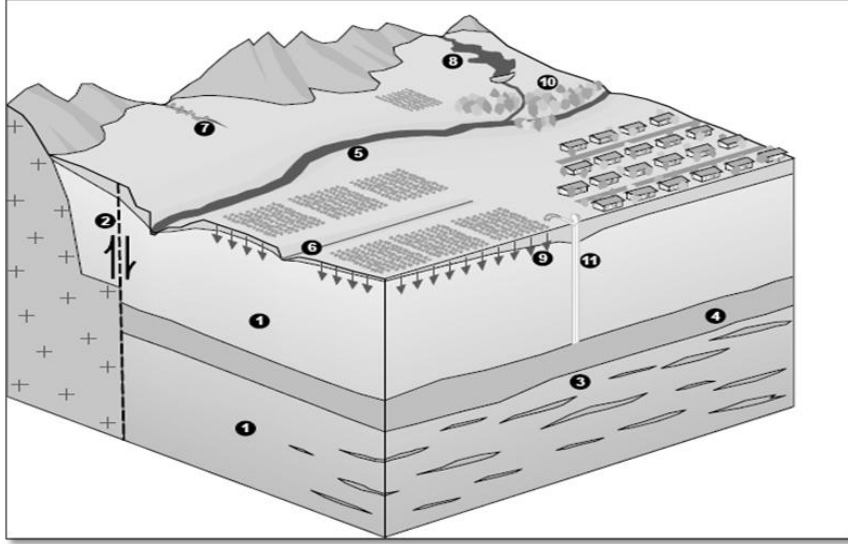
Yeraltı suyu modelleri dört genel tipteki probleme uygulanmaktadır: yeraltı suyu akışı, çözünenin taşınımı, ısı akışı ve akiferin deformasyonu.

2.4.3. Visual MODFLOW

McDonald ve Harbaugh modeli (MODFLOW) son derece çok yönlü blok merkezli bir sonlu farklar yeraltı suyu akış modelidir [Afşin ve Kayabalı, 2004].

MODFLOW, yeraltı suyu sistemlerinin özelliklerini benzeştiren, U.S. Geological Survey (USGS) tarafından geliştirilen bir bilgisayar programıdır. MODFLOW, yeraltı suyu akım modeli için dünyada yaygın olarak kullanılan bir programdır. Bu programın kullanımının bu kadar yaygın olması ; MODFLOW tarafından kullanılan sonlu farklar (finite difference) yöntemini gerçek dünya koşullarının geniş bir yelpazede uygulama ve anlamada nispeten kolay olması, tek-boyutlu- iki boyutlu yada üç boyutlu uygulama seçeneklerinin oluşu, MODFLOW un her simülasyon özelliği kapsamlı olarak test edilmiş olması, başlangıç verilerinin programa girişi kolay ve anlaşılabilir olmasından kaynaklanmaktadır [USGS ,1997].

Bu program üç boyutlu olup, girdileri su tablası, basınçlı akifer veya ikisinin birleşimi şeklindedir. Bu model beslenme, buharlaşma-terleme, alansal beslenme, kuyulara akış ve akarsu yataklarından akışı benzeştirir. (Şekil 2.11) .



Şekil 2.11. MODFLOW tarafından benzeştirilebilen akifer sistemi özellikleri [USGS ,1997]. (1. Serbest ve basınçlı akiferler , yeraltı suyu akımı ve depolama değişken ,2. Faylar ve diğer bariyerler, 3. İnce taneli geçirimsiz birim , alt sınır 4. Geçirimsiz birim, depolama ve yeraltı suyu akımı değişken, 5. Nehirler , 6. Drenajlar, 7. Kısa akışlar, 8. Rezervuarlar, 9. Sulama ve yağışla beslenme, 10. Evapotranspirasyon,11. Kuyular .)

Model birbirinden bağımsız ayrı modüller dizisi olarak kurulmuş olup, kullanıcı çalışırken belirli sistem için sadece ihtiyacı olan modülü seçer [Afşin ve Kayabalı, 2004].

MODPATH, yeraltı suyu hızlarını ,akış yolu hatlarını ve hareket sürelerini hesaplamada MODFLOW ile çalışan partikül izleme metodudur. MT3D de MODFLOW ile çalışır ve yeraltı suyu kirlenicilerin konsantrasyonlarını hesaplar. Söz konusu model adveksiyon, gecikme, dispersiyon ve bozunmayı benzeştirir [Afşin ve Kayabalı, 2004].

MODPATH , kirlenicilerin zamana bağlı olarak seyahetini ve taşınım yollarını tahmin etmek için kullanılır.

2.5. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS)

Çok büyük sahalarda , çok fazla miktarda veri toplanabilir. CBS coğrafi bilgiyi depolar, analiz eder ve çoklu katmanlarını gösterir [Afşin ve Kayabalı, 2004]. CBS teknolojileri, sayısal akıllı haritalar yardımıyla sorgulama amaçlı veritabanlarını ve istatistiksel analizi kullanarak, bilginin sınıflandırılmasını, karşılaştırılmasını, modellendirilmesini, mühendislik uygulamalarının ve stratejik planlamanın yönlendirilmesini sağlar.

Coğrafik bilgiler, enlem-boylam şeklindeki coğrafi koordinat ya da ulusal koordinatlar gibi kesin değerleri veya adres, bölge ismi, yol ismi gibi tanımlanan referans bilgileri içerirler. Bu coğrafik referanslar objelerin konumlandırılmasına yani koordinatı bilinen bir pozisyona yerleştirilmelerine imkan sağlar. Böylece ticari bölgeler, araziler, orman alanları, yeryüzü kabuk hareketleri ve yüzey şekillerinin analizleri konuma bağlı olarak belirlenir [Tecim, 2008].

Coğrafik referans konumu belirlerken, konum verisi yani koordinat bilgisi seçilecek veri modeline bağlı olarak ifade edilir. Bu ifade şekli CBS’de iki farklı konumsal veri modeli biçimindedir. Bunlar “vektörel (vector)” ve “hüresel (raster)” veri modelleridir.

a. Vektörel veri modelleri

Vektörel veri modelinde, nokta, çizgi ve poligonlar (x,y) koordinat değerleriyle kodlanarak depolanırlar. Nokta özelliği gösteren bir elektrik direği tek bir (x,y) koordinatı ile tanımlanırken, çizgi özelliği gösteren bir yol veya akarsu şeklindeki coğrafik varlık birbirini izleyen bir dizi (x,y) koordinat serisi şeklinde saklanır. Poligon özelliğine sahip coğrafik varlıklar, örneğin imar adası,

bina, orman alanı, parsel veya göl, kapalı şekiller olarak, başlangıç ve bitişinde aynı koordinat olan (x,y) dizi koordinatlar ile depolanır. Vektörel model coğrafik varlıkların kesin konumlarını tanımlamada son derece yararlı bir modeldir. Ancak, süreklilik özelliği gösteren coğrafik varlıkların, örneğin toprak yapısı, bitki örtüsü, jeolojik yapı ve yüzey özelliklerindeki değişimlerin ifadesinde daha az kullanışlı bir model olarak bilinir [Tecim, 2008].

b. Raster (hüresel) veri modelleri

Hüresel ya da diğer bir deyişle raster veri modeli daha çok süreklilik özelliğine sahip coğrafik varlıkların ifadesinde kullanılmaktadır. Raster görüntü, birbirine komşu grid yapıdaki aynı boyutlu hücrelerin bir araya gelmesiyle oluşur. Hücrelerin her biri piksel (pixel) olarak ta bilinir. Fotoğraf görüntüsü özelliğine sahip raster modeller, genellikle fotoğraf ya da haritaların taranması (scanning) ile elde edilirler.

Vektör ve raster veri modellerinden biri genelde CBS uygulama biçimine göre tercih edilerek kullanılır. Ancak günümüzde her iki model aynı anda da kullanılabilir. Bu tür bir kullanım şekli CBS’de hybrid (melez) veri modeli olarak bilinmektedir [Tecim, 2008].

2.5.1. CBS'de Temel İşlevler

Coğrafi bilgi sistemlerinin sağlıklı bir şekilde çalışması aşağıdaki 4 temel işlevlerin yerine getirilmesine bağlıdır. Bunlar;

a. Veri toplama: Coğrafik veriler toplanarak, CBS’de kullanılmadan önce mutlaka sayısal yani dijital formata dönüştürülmelidir. Verilerin kağıt ya da harita ortamından bilgisayar ortamına dönüştürülmesi işlemi sayısallaştırma (digitizing)

olarak bilinir. Modern CBS teknolojisinde bu tür işlemler büyük boyutlu projelerde tarama tekniği kullanılarak otomatik araçlarla gerçekleştirir.

b. Veri yönetimi: Küçük boyutlu CBS projelerinde coğrafi bilgilerin sınırlı boyuttaki basit dosyalarda saklanması mümkündür. Ancak, veri hacimlerinin geniş ve kapsamlı olması, bunun yanında birden çok veri gruplarının kullanılması durumunda Veri Tabanı Yönetim Sistemleri (Data Base Management Systems) verilerin saklanması, organize edilmesi ve yönetilmesine yardımcı olur. Veri tabanı yönetim sistemleri bir bilgisayar yazılımı olup veri tabanlarını yönetir veya birleştirir. Birçok yapıda tasarlanmış veri tabanı yönetim sistemi vardır, ancak CBS için en kullanışlı ilişkisel (relational) veri tabanı sistemidir. Bu sistem tasarımında veriler tablo bilgilerinin elde edilmişindeki düşünce yapısına uygun olarak bilgisayar belleğinde saklanır. Farklı bilgiler içeren tabloların birbiriyle ilişkilendirilmesinde bu tablolardaki ortak sütunlar kullanılır. Bu yaklaşım basit fakat esnek bir tasarım olup, geniş çapta CBS uygulamalarında kullanılmaktadır [Tecim, 2008].

c. Veri işleme: Bazı durumlarda özel CBS projeleri için veri çeşitlerinin birbirine dönüşümü veya irdelenmesi istenebilir. Verilerin sisteme uyumlu olması bunu gerektirebilir. Örneğin, konumsal bilgiler farklı ölçeklerde mevcut olabilir (yol verileri 1/100.000, nüfus dağılım verileri 1/10.000, bina verileri 1/1.000 gibi). Tüm bu bilgiler birleştirilmeden önce aynı ölçeğe dönüştürülmelidir. Bu dönüşüm görüntü amacıyla geçici olabileceği gibi bir analiz işlemi için sürekli ve kalıcı da olabilir. CBS, gerek bilgisayar ortamında obje üzerine imlecin (mouse) tıklanması ile basit sorgulama kapasitesine, gerekse çok yönlü konumsal analiz araçlarıyla (tools) yönetici ve araştırmacılara istenen süreçte bilgi sunar. CBS teknolojisi artık coğrafi verileri istatistiksel grafikler ve “eğer olur ise..” (if conditions) şeklindeki mantık sorgulamaları ve senaryolar şeklinde irdeme aşamasına gelmiştir. CBS teknolojisi konumsal verilerin sorgulanması ve analizinde, yazılımlar sayesinde, birçok veri her türlü geometrik ve mantıksal işleme tabi tutulabilir [Tecim, 2008].

d. Veri sunumu: Görsel işlemler yine CBS için önemli bir işlemdir. Birçok coğrafi işlemin sonunda yapılanlar harita veya grafik gösterimlerle görsel hale getirilir. Haritalar coğrafi bilgiler ile kullanıcı arasındaki en iyi iletişimi sağlayan

araçlardır. Haritaların uzun yıllardır harita üretmesine karşın, CBS harita yapma biliminin hızlı gelişmesine de katkıda bulunan yeni ve daha etkili araçları sunmaktadır. Haritalar, yazılı raporlarla, üç boyutlu gösterimlerle, fotoğraf görüntüleri ve çok-ortamlı (multimedia) ve diğer çıktı çeşitleriyle birleştirebilmektedir [Tecim, 2008].

2.5.2. Enterpolasyon Metodları

Konuma bağlı bilginin üretiminin ve kullanımının artması, bu bilgilerin modellenmesini ve gerektiğinde ara değerlerin hesaplanmasını gerekli kılmaktadır. Bilgisayar ortamında, 3 boyutlu arazi verilerinden arazi yüzeyinin modellenmesi, eşyükselti eğrilerinin çizimi ve sayısallaştırılmış eşyükselti eğri çizimlerinden arazi yüzeyinin modellenmesi, enterpolasyonun sık kullanıldığı uygulamalardır. Sayısal arazi modelleri veya sayısal yükseklik modelleri olarak isimlendirilen bu çalışmalar bilgisayar olanaklarının artmasıyla hızla yaygınlaşmıştır. Literatürde önerilmiş olan bir çok enterpolasyon algoritması uygulama olanağı bulurken yeni algoritmalar da türetilmektedir [Sukumar vd.,2001].

a) Düzensiz Üçgen Ağı - Triangulation With Smoothing (TIN) :

Bir üçgensel ağ oluşturmak için , çizgiler ağı ile orjinal veri noktalarının birleştirildiği bu yöntem Düzensiz Üçgen Ağı (TIN) adı verilir. Bu metodla oluşturulan arazi gerçek verideki her noktanın gerçek değerinden üçgenleme ile oluşturulur, noktaların dağılımına göre yerel tepe ve çukurlar oluşturulur. Yani, yeni grid değerleri ,en yakın noktalardaki TIN yüzeyinin eğimine göre hesaplanır [Vertical Mapper , 2008].

b)Uzaklıkla Ters Orantılı Ağırlıkta - Inverse Distance Wighting (IDW)

Bu metod (IDW) ile oluşturulan arazi modelindeki hesaplamalar her noktayı çevrelere belirli uzaklıktaki diğer noktaların değerlerini uzaklıkları ile ters orantılı olarak hesaplanması ile ortaya çıkar. Böylece hesaplanan nokta değeri ilk değerinden belirli bir oranda fazla veya az olabilir. başka bir deyişle, yeni bir grid nodunun belirlenmiş bir yarıçapı içinde kalan orjinal veri noktaları, noddan olan uzaklıklarına bağlı olarak ağırlıklandırılır ve sonra yeni grid hücre değerini hesaplamak için ortalamaları alınır [Vertical Mapper ,2008].

c) Doğal Komşuluk – Natural Neighbourhood :

Orjinal veriler kullanılarak doğal komşuluk bölgeler ağı (Voronoi Diagram) oluşturulur. Bu , grid hücrelerini kaplamak için yeni değerler atamada kullanılan her veri noktası için bir etki alanı oluşturur.

Bu metod ile yapılan hesaplamalar her noktanın komşu noktaları ile oluşturulan alan veri setinden yapılmaktadır. Bu metod doğrusal dağılım gösteren veri setlerinden uygulanması en iyi seçimdir. Bu metod ile hesaplanan değerler yerel maksimum ve minimum değerlerini aşmaz [Vertical Mapper ,2008].

d) Dikdörtgensel – Doğrusal Enterpolasyon – Rectangular Interpolation:

Orjinal veri noktaları düz çizgilerden yapılmış bir ağ oluşturmak için çizgiler ağıyla birleştirilir. Sonra yeni grid değerleri en yakın dört noktadan oluşturulmuş çif doğrusal lineer iskeletin eğimi kullanılarak kestirilir [Vertical Mapper ,2008].

e) Kriging



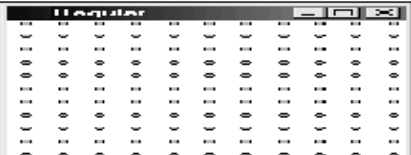
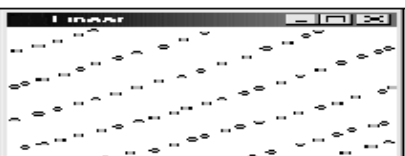

Kriging bilinmeyen alanlarda değerleri kestirirken bilinen veri noktaları arasında hem derece değişimini hem de uzaklığı hesaba katan jeostatistiksel bir enterpolasyon tekniğidir.

Variogram uzayda farklı noktalardaki değişkenler arasındaki bağımlılığı ölçen , karakterize eden bir fonksiyondur. Variogram analizi, incelenen özelliğin konumsal bağımlılık derecesini, yani ölçme yapılan noktalar arasındaki konumsal bağımlılığı belirlemede, kriging analizi ise ölçme yapılmayan nokta veya alanlardaki özelliklerin kestirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [Başkan, 2004].

Kriging enterpolasyon yöntemi, bilinen yakın noktalardan alınan verileri kullanarak, diğer noktalardaki verilerin optimum değerlerini kestiren bir enterpolasyon metodudur [İnal vd., 2002]. Kriging enterpolasyon, yarıvariogram yapısal özellikleri kullanılarak örneklenmemiş noktalardaki konumsal değişikliklerin yansız tahmininin optimal şekilde yapıldığı bir tekniktir. Kriging yöntemini diğer enterpolasyon yöntemlerinden ayıran en önemli özellik , tahmin edilen her bir nokta veya alan için bir varyans değerinin hesaplanabilmesidir ki bu tahmin edilen değer için güven değerinin bir ölçüsüdür [Başkan,2004].

Enterpolasyon teknikleri seçilirken, veri tipi, noktalarda ki değerlerin doğruluğu ve dağılımı göz önüne alınmalıdır. Noktaların dağılımına göre uygun enterpolasyon tekniklerinin seçiminde aşağıda Çizelge 2.1' den yararlanılabilir [Vertical Mapper , 2008].

Çizelge 2.1. Nokta dağılımına göre uygun enterpolasyon teknikleri [Vertical Mapper , 2008].

Nokta Dağılımı	Enterpolasyon Teknikleri
	TIN, IDW, Kriging
	NN, IDW, Kriging
	Rectangular, NN, Kriging
	IDW, NN, Kriging
	NN, Kriging

2.6. İZOTOP VE HİDROJEOLOJİDE KULLANIMI

Su kaynaklarının değerlendirilmesi, geliştirilmesi ve yönetimi faaliyetlerinde ortaya çıkan sorunların çözümünde izotopların kullanımıyla ilgili yöntemler geliştirilmiş olup, bu teknikler su kaynaklarının araştırılmasında ve çevresel çalışmalarda halihazırda kullanılmaktadır. Söz konusu yöntemlerde iz elementlerin atomik özelliklerinden yararlanılmaktadır. İzotop yöntemleri klasik yöntemlere göre daha etkili olmakla birlikte, pahalı değildirler. Tek bir izotop analizi ile hidrolojik süreçle ilgili çok kapsamlı bilgilerin elde edilmesi mümkündür [Özgüler, 2002].

Bir elementin her atomunda proton sayısı aynı olmasına karşın, nötron sayıları değişebilmektedir. Farklı nötron sayılarına sahip atomlarına o elementin izotopları adı verilmektedir. İzotoplar genel olarak iki gruba ayrılabilirler: duraylı ve duraysız (radyoaktif) izotoplar. Duraylı izotoplar: Buharlaşma ve yoğunlaşma gibi fiziko-kimyasal proseslerle konsantrasyonları değişmesine rağmen zaman içinde değişmeyen izotoplardır. Duraysız izotoplar: bunlar radyoaktif bozuma yoluyla başka bir elemente dönüşen izotoplardır. Yaygın olarak radyometrik yaş ölçümlerinde kullanılırlar.

Duraylı izotoplar jeokimya ve fiziksel jeolojiyi tamamlayan bazı araştırmalara katkıda bulunmaktadır. Suyun duraylı izotop bileşimi meteorik proseslerle nitelendirilir ve böylece kısmi bir çevrede beslenim suları karakteristik izotopik işarete sahiptir. Bu işaret yer altı suyunun varlığı için doğal bir izleyici görevi görür. Çevresel izotoplar yer altı suyunun varlığı ve yaşını belirlememizi sağlayan verilerdir [Clark ve Fritz , 1997].

2.6.1. Suyun İzotopik Bileşimi

Oksijen yer kabuğunda en bol bulunan kimyasal elementtir ve suyun yapısında hidrojen ile birleşmiştir. Oksijen bolluk sırasına göre ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O , üç adet; Hidrojen ise ^1H VE $^2\text{H(D)}$ olmak üzere iki duraylı izotopa sahiptir. Hidrojenin izotop jeolojisi, izotoplar arasındaki büyük kütle farkları nedeni ile ilginçtir. Büyük kütle farklılıkları nedeni ile karasal örneklerin D/H oranı %70 'e kadar değişmektedir. Hidrojen ve oksijen, yeryüzünde jeolojik proseslerin büyük bir kısmına beraberce katılırlar [Faure,1986].

Suyun farklı izotopik moleküllerinin buhar basıncı izotopların kütleleri ile ters orantılıdır. Örneğin H_2^{16}O , H_2^{18}O dan daha yüksek buhar basıncına sahiptir. Bu nedenle, suyun buharlaşması sürecinde buhar fazı hafif izotoplarca (H ve ^{16}O) zenginleşirken, ağır izotoplar (D, ^{18}O) geriye kalan artık sıvı fazında derişmektedir [Faure,1986].

Genel olarak duraylı izotoplar, verilen elementin iki en bol izotopunun oranı olarak ölçülür. Oranlardaki bu değişimler ancak kütle spektrofotometreleriyle saptanabilir. Kütle spektrometresi, iyonlaştırılmış ölçüm gazının hız süzgecinden geçtikten sonra manyetik alan uygulanması esnasında farklı iyonların farklı dairesel yörüngeler çizerek kolektörlerde toplanması ve yükselteç ve diğer elektronik sistemler aracılığıyla ölçülmesi prensibi ile çalışır [Çifter ve Sayın, 2002]. Oksijen ve hidrojenin izotopik bileşimleri, $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ ve D/H oranlarının farklılıkları açısından belirtilmektedir. Deniz suyunun izotopik bileşimi referans olarak kullanılan SMOW olarak bilinir. SMOW (Standart Mean Ocean Water) ilk defa Craig tarafından tanımlanmıştır. SMOW, okyanus sularının ortalama izotopik bileşimini yansıtmakta ve $\delta\text{D}=0\text{‰}$ ve $\delta^{18}\text{O}=0\text{‰}$ değerleriyle tanımlanmaktadır [Gat ve Gonfiantini, 1981].

Jeolojik malzemelerdeki duraylı izotop bileşimleri, belli bir standardın bileşiminden olan sapmalar şeklinde, (delta) δ parametresi ile ifade edilir. Su için:

$$\delta\text{D}(\text{‰}) = \frac{\left(\frac{\text{D}}{\text{H}}\right)_{\text{sample}} - \left(\frac{\text{D}}{\text{H}}\right)_{\text{SMOW}}}{\left(\frac{\text{D}}{\text{H}}\right)_{\text{SMOW}}} \times 10^3 \quad (2.26)$$

$$\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = \frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{sample}} - \left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{SMOW}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{SMOW}}} \times 10^3 \quad (2.27)$$

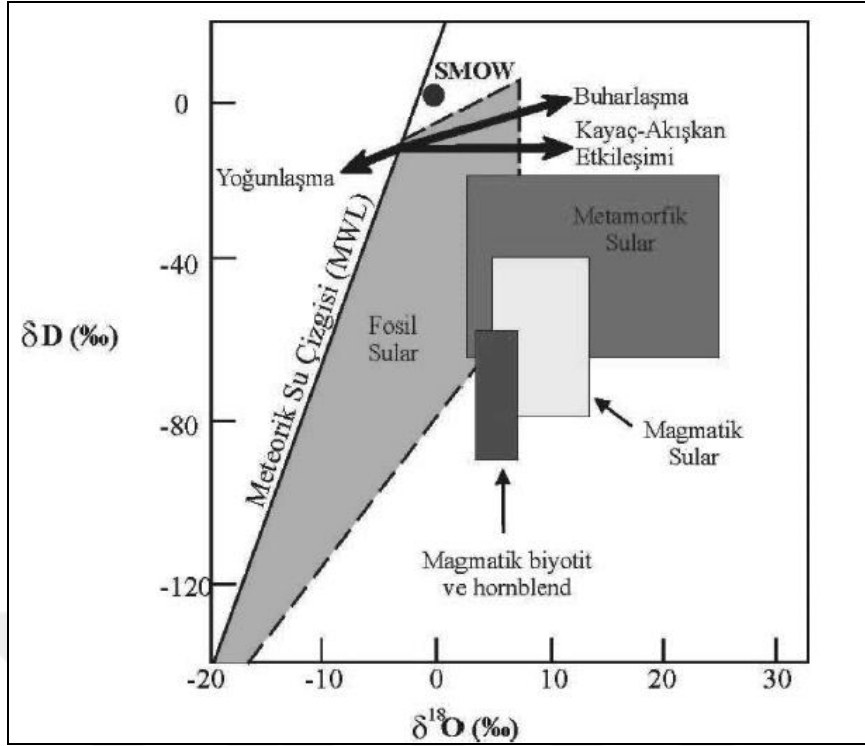
şeklinde olmaktadır. δ değeri bağıl bir değerdir. Yani δ değeri, numunenin, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ veya, $^2\text{H}/^1\text{H}$ oranı bir standardın $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ veya, $2\text{H}/^1\text{H}$ oranından farklıdır [Çifter ve Sayın, 2002].

Standarda göre suyu karakterize eden negatif değerler izotopik olarak tükenmeyi (yani ağır izotop açısından fakir olduğunu), pozitif değerler ise su örneğine göre izotopik zenginleşmeyi (ağır izotop açısından zengin olduğunu) göstermektedir. Ölçüm doğruluğu $\delta^{18}\text{O}$ için ‰ 0,15 ve δD için ‰ 1'dir [IAEA,1998].

Okyanuslarda ki buharlaşma süreci (hafif izotopların buhar fazına geçmesi) ve bunu takiben bulutlarda meydana gelen yoğunlaşma süreci sonucunda, meteorik yağışlar ile oluşan yüzey suları deniz suyuna oranla daha düşük δD - $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine sahip olmaktadır. Dünya üzerindeki farklı lokasyonlardan alınan çok sayıdaki yağış sularında gerçekleştirilmiş olan izotop analizleri, meteorik suların δD - $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin,

$$\delta\text{D} = 8(\delta^{18}\text{O})+d \quad (2.28)$$

denklemini ile tanımlanan çizgisel bir ilişkiye sahip olduğunu göstermiştir (Şekil 2.12) [Güleç ve Mutlu, 2003].



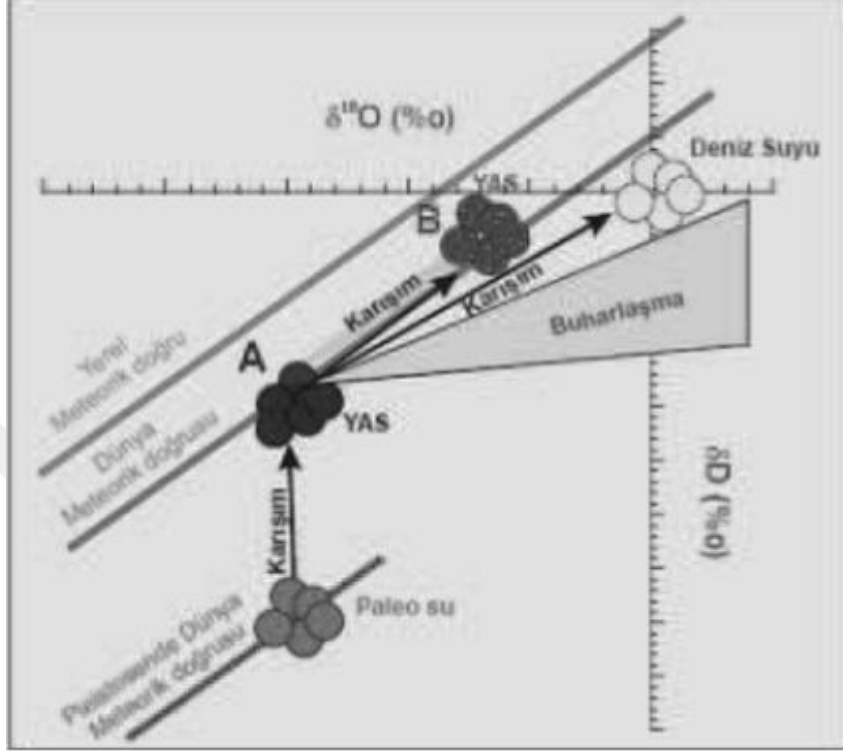
Şekil 2.12. Farklı su kaynaklarının izotop bileşimini ve fiziko-kimyasal süreçlerin su bileşimi üzerine etkilerini gösteren δD - $\delta^{18} O$ diyagramı [Güleç ve Mutlu, 2003].

Şekil 2.12' de hidrojeolojide sık kullanılan şematik δD - $\delta^{18} O$ grafiği ve bu grafik üzerinde olası karışım sularının bulunabileceği ortamlar gösterilmiştir. Şekilde gösterilen Dünya Meteorik Su Doğrusunu (DMD) tanımlayan eşitlik şöyledir;

$$\delta D = 8(\delta^{18} O) + 10 \quad (2.29)$$

2.28 nolu eşitlikte d değeri ya da Şekil 2.12' de Dünya Meteorik Su Doğrusunun y eksenini kestiği nokta "Döteryum Fazlası" olarak tanımlanır ve yağışa kaynak oluşturan deniz suyunun buharlaşma miktarının göstergesidir. Dünya Meteorik Su Doğrusunun d değeri 10'dur ve okyanusların üzerindeki atmosferin bağıl nemliliğinin fonksiyonudur. d değeri buharlaşmanın fazla olduğu bölgelerde daha pozitif değerlere ulaşır. Örneğin ülkemizin de içinde

bulunduğu Doğu Akdeniz iklimi için bu değer +22 dir [Gat, 1971]. Bu nedenle izotop çalışmaları sırasında öncelikle yerel meteorik doğrunun oluşturulması gerekmektedir [Kurttaş, 2002].



Şekil 2.13. Şematik δD- δ¹⁸ O grafiği ve karışım oluşturan uç sular [Bedard-Haughn ve ark.,2003].

Şekil 2.13'de önemli bir buharlaşmanın olmadığı yüzey ve yeraltı suları DMD üzerinde bulunurlar. İlkbahar ve yaz yağışları ile alt kotlardaki yağışları temsil eden sular δD ve δ¹⁸ O doğrusu üzerinde B noktası yönünde, sonbahar ve kış yağışları ile topoğrafik olarak üst yüksekliklerdeki yağışlar ise doğrunun A noktasına yakın yerleşirler [Coplen, 2000]. Buharlaşma doğrusunun eğimi nemlilik, sıcaklık, tuz konsantrasyonu gibi etkenlere bağlıdır.

Meteorik suların δ¹⁸ O değerleri 0 ila -60 ‰, δD değerleri ise +10 ila -400 ‰ arasında değişmektedir. Sıcaklık düştükçe izotop ayırılma faktörü, dolayısıyla suların ağır izotop /hafif izotop oranları artmaktadır. Ayrıca bu

değerler, bulunan bölgenin enlemine ve deniz seviyesinden olan yükseltisine bağlı olarak da değişmektedir; enlem ve yükseklik arttıkça, δD ve $\delta^{18} O$ değerleri düşmektedir [Faure, 1986].

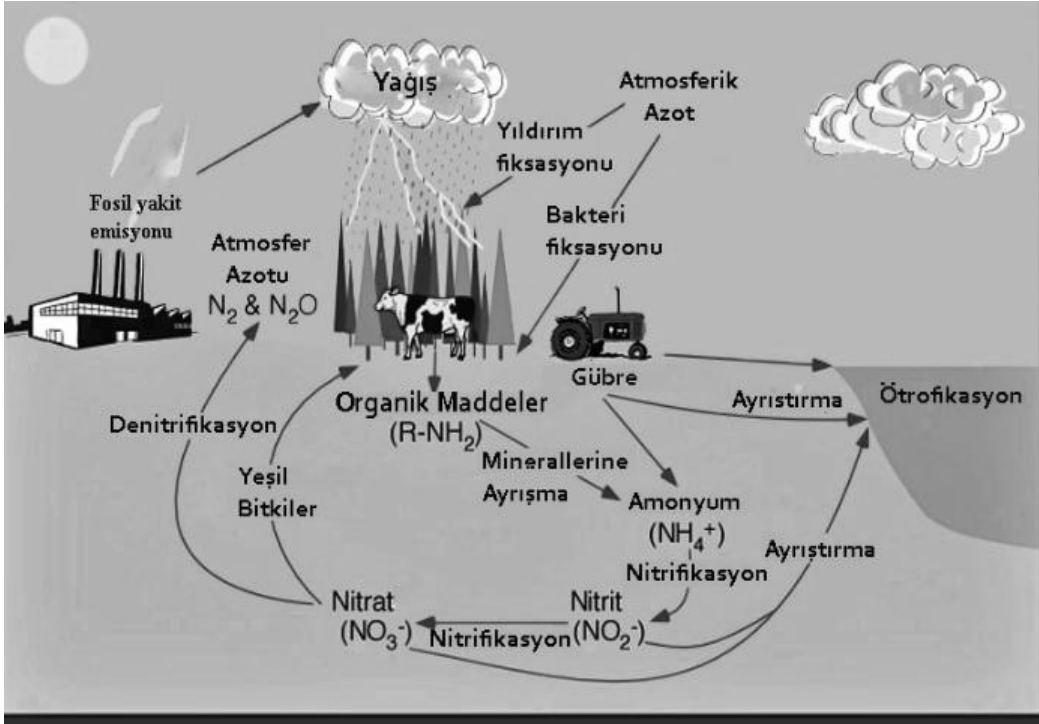
2.6.2. Azot ve Azot İzotopu

2.6.2.1. Azot

Doğada yaygın olarak bulunan azot elementi, dünyada canlı yaşamı için gerekli ve önemlidir. Bitkiler için azot, önemli bir besin maddesi olmakla birlikte, ekosistemde sınırlayıcı bir elementtir. Canlı dokularda solunum ve fotosentez için azot oldukça önemlidir. Azot içeren bileşikler sıvı, katı yada gaz formlarında olabilirler. kayalara bağlı azotu saymazsak, yaygın olarak doğada, N_2 (azot gazı), N_2O (nitroz oksit), NH_4^+ (amonyum), NO_2^- (nitrit) and NO_3^- (nitrat) formlarında bulunur [Lindenbaum, 2012].

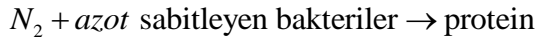
Atmosferin temel bileşeni olan N_2 hariç, azot türlerinin tamamı çevresel problemlere neden olabilir. Kompleks yapısının yanısıra azotun oksidasyon değerlikleri ve kimyasal yapısı biyolojik, kimyasal ve fotokimyasal proseslerle kolaylıkla değişebilir [Toröz, 2013].

Azot doğada bir çevrim içindedir (Şekil 2.14). Azot döngüsünden, atmosferin azot için çok büyük bir rezervuar olduğu görülmektedir. Elektriksel boşalma, azot sabitleyen bakteriler, algler ve yanma prosesleri ile azot sürekli olarak atmosferden uzaklaşır. Elektrik fırtınaları sırasında, azot NO'ye okside olur ve NO'da atmosferde ozon tarafından oksitlenerek NO_2 oluşturur ve daha sonra NO_2 fotoliz ile tekrar NO ya indirgenir. Bu iki tür genellikle birlikte NO_x olarak adlandırılır [Toröz, 2013].

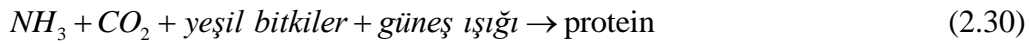


Şekil 2.14. Azot döngüsü.

Atmosferdeki azotun, azot döngüsüne girmesi, azot sabitleyen bakteriler tarafından azotun proteine dönüşümü ile olmaktadır. Algler ile benzerlikleri olan fotosentetik *cynobacteria* bu gruba dahildir.



Ayrıca, daha fazla protein üretimi için bitkiler amonyak sağlanması amacı ile, toprağa amonyak ve amonyum bileşikleri uygulanır. Üre, amonyağın kademeli olarak serbest kalmasından dolayı en çok bilinen amonyum bileşiklerinden biridir.

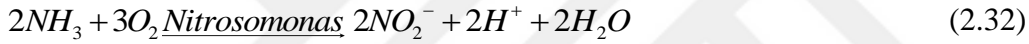


İnsanlar ve hayvanlar, protein üretmek için inorganik bileşikleri ve atmosferdeki azotu kullanma yeteneğine sahip değildir. Geviş getiren hayvanlar hariç diğerlerinin, protein sağlamak için bitkilere veya bu bitkiler ile beslenen diğer hayvanlara ihtiyacı vardır.

Hayvan dışkısı , önemli miktarda sindirilmemiş protein madde(organik azot) içerir. Ölü hayvanların vücudunda ve bitkilerde bulunan protein , aerobik ve anaerobik koşullar altında heterotrofik bakteriler tarafından büyük ölçüde amonyağa dönüştürülür [Toröz, 2013].



Bakteriler tarafından ortaya çıkartılan üredeki amonyak ve protein, bitkiler tarafından doğrudan kullanılarak bitkisel protein üretiminde kullanılabilir. Eğer bitkilerin ihtiyacından fazlası açığa çıkarsa , bu fazla kısım ototrofik nitrifikasyon bakterileri tarafından okside edilir. Bakterilerin bir grubu olan *Nitrosomonas* ,aerobik koşullarda amonyağı nitrite dönüştürür ve oksidasyon sonucu enerji açığa çıkar.



Nitrifikasyon bakterilerinin bir diğer grubu olan *Nitrobakter* ile de nitrit, nitrate oksitlenir.



Oluşan nitrat, bitkiler için gübre olarak kullanılır. Toprak nitratı tutmadığı için, bitkilerin ihtiyacından fazla olan nitrat, topraktan sızarak suya taşınır. Yeraltı sularında oldukça yüksek konsantrasyonlarda nitrat birikir. Anaerobik koşullar altında nitrat ve nitritin indirgenme süreci *denitrifikasyon* olarak adlandırılır. Önce nitrat nitrit'e indirgenir, nitrit de protein oluşumu için bakteriler tarafından amonyağa kadar indirgenir. Nitrat genellikle azot gazına kadar indirgenir ve atmosfere yayılır. Anaerobik koşullar olduğu zaman toprakların gübre maddesinde ciddi bir kayıp oluşmaktadır. Toprak, su ve atmosferdeki azot dönüşümü çeşitli kimyasal, fotokimyasal ve biyolojik prosesler aracılığı ile gerçekleşir [Toröz, 2013].

2.6.2.2. Azot izotopları

Azot, tarımın yoğun olarak uygulandığı bölgelerde sızıntı ve denitrifikasyondan sorumlu tarımsal kirliliğin bir parçasıdır. Son 40 yıldır, su ekosistemlerinin azot içeriği yoğun tarım yapılan ülkelerde aşırı azotlu gübre kullanımı sebebi ile artmıştır [Fageria ve Baligar,2005].

Duraylı izotoplar ekoloji çalışmalarında potansiyel kirleticilerin etkisini izlemede sıklıkla kullanılmaktadır. Günümüzde, duraylı izotoplar, antropojenik kaynakları izleme (hayvansal atıklar, septik tanklar, arıtma çamurları vb.) ve kirleticili kaynağı belirlemede kullanılan etkili bir araç olmuştur [Tucker ve ark.,1999, Heikoop ve ark.,2000, Sigleo ve Macko 2002, Sarà ve ark.,2004, Vizzini ve Mazzola, 2004, Fertig ve ark.,2009, Lassauque ve ark.2010, Xu ve Zhang,2012, Rozic ve ark, 2014].

Azot iki duraylı izotopa sahiptir [^{14}N (%99.63) ve ^{15}N (%0.366)]. Havada bulunan ^{15}N miktarının sabit olması nedeniyle atmosferik hava (AIR) azot derişiminin sunulmasında standart olarak kabul edilmiş ve ^{15}N içeriği atmosferin $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ oranından sapma olarak ifade edilmektedir ($\delta^{15}\text{N}$). Yeraltı suyunda bulunan ^{15}N izotopunun başlıca kökenleri atmosfer ($\delta^{15}\text{N}=0$), azotlu gübreler ($\delta^{15}\text{N} = 0 \pm \%3$), canlı ya da ölü organik maddelerdir ($\delta^{15}\text{N} = +\%10$ ile $+\%25$). Su – kayaç etkileşimi ^{15}N içeriğini etkilememektedir [Yıldırım ve Güner,2002].

Örneklerin, pozitif $\delta^{15}\text{N}$ değerleri (0 dan büyük), standart atmosfer $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ oranından yüksek olduğunu gösterir. Negatif $\delta^{15}\text{N}$ değerleri standart atmosfer $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ oranından düşük olduğunu gösterir [Komor ve Anderson,1993].

Azot türlerinin izotopik bileşimi, yeraltı suyunda azotun davranışı ve kaynağını sınırlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Azot izotop bileşimi tarafından nitrat kaynaklarının ayrımlandırılması yapılmaktadır. [Widory vd., 2004].

Azot, reaktif bir kirlenici olup, suyun yeraltına infiltrasyonu boyunca biyolojik olarak (nitrifikasyon-denitrifikasyon) kullanılmaktadır [Aravena ve Mayer, 2010].

Azot bileşiklerinin izotopik oranları kullanılarak kullanılarak, kirlenici kaynaklarının sınıflandırılması yapılmaktadır [Kellman ve Marcel, 2003].

2.6.2.3. Azot kaynaklarının izotopik bileşimi

Belirli bir alanda nitratın kirlilik kaynaklarının belirlenmesi, özellikle 'kirlenilen öder' ilkesinin uygulaması ile, günümüzde çok ilgi çeken bir konu olmaktadır. Bu hedefe ulaşmak için güvenilir iki yöntem mevcuttur: (I) bilgisayarlı haritalama teknikleri, (ii) izotop yöntemleri [Canter,1997].

Bazı durumlarda, her ikisi aynı anda kullanılır. Haritalama teknikleri alandaki, drenaj, bitki çeşitleri, gübre kullanımı, hayvan çiftlikleri, yeraltı su kuyuları vb. çeşitli verilerin harita üzerinde örtüşmesine dayanmaktadır. Diğer taraftan izotop yöntemleri, özel bir bileşiğin izotopik kompozisyonunun, kaynağın ile kökeni ilişkili olduğu gerçeğine dayanır [Curt ve ark, 2004].

Nitrat kirlenici kaynaklarının belirlenmesi için N izotop oranı değerlerinin kullanımı, 1970'lere kadar uzanır. Kohl ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada

Sangamon Nehrindeki azot kirliliğine , gübre katkısını tahmin etmek için kullanılmışlardır [Kohl ve ark., 1971]. Çalışmalarında, Azot izotopik oranını ($^{15}\text{N} / ^{14}\text{N}$) ölçülmesi ve kirletici madde kaynaklarının değerleri ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması esasına dayanmaktadır.

Atmosferde hemen hemen sabit olan $^{15}\text{N} / ^{14}\text{N}$ oranı, bazı biyolojik, kimyasal ve fiziksel süreçler ile azotlu bileşiklerin farklı izotopik kompozisyonu ile sonuçlanabilir. [Canter,1997].

Kararlı Azot izotop oranı, 1970'lerden bu yana Kuzey Amerika 'da nitrat kirletici kaynaklarının belirlenmesi için yararlı bir araç olarak kabul edilmiştir [Rolston ve ark.1994, Wassenaar 1995].Kararlı azot izotopları yeraltı suyunda nitrat veya amonyum kaynağını belirlemek için birçok kişi tarafından kullanılmaktadır [Battaglin ve ark.,1997].

^{15}N izotopu su biliminde, daha çok yeraltı suyunda *azot kirliliğinin kökenini* belirlemekte kullanılmaktadır. Su kaynaklarında nitrit (NO_2), nitrat (NO_3), amonyak (NH_3) bileşiklerinin belirli değerlerin üstünde olması durumunda dolaylı ya da doğrudan insan sağlığını ve suda yaşayan diğer canlıları tehdit etmektedir. Su kaynaklarında azot türevlerinin bir kısmı atmosferden kaynaklanmaktadır. Ancak, bitkilerin çürümesi, hayvan atıkları ve fosseptikler, kanalizasyon deşarjları ve azotlu gübreler en önemli azot kaynaklarını oluşturmaktadır. Suya herhangi bir biçimde karışan azot türevleri oksitlenme ile nitrata dönüşürken (nitrifikasyon), indirgenme süreçleri (denitrifikasyon) ile gaz halinde azota dönüşerek atmosfere karışır. Yeraltı suyunda azotun kökeni ve nitrifikasyon-denitrifikasyon süreçleri $\delta^{15}\text{N}$ - $\delta^{18}\text{O}$ ilişkisi ile ortaya konabilmektedir (Şekil 6.3) [Tezcan, 2002].

Kararlı izotopların kullanıldığı nükleer teknikler; tarımsal hidroloji uygulamalarında verimliliğin artırılması, çevresel kirleticilerin tanınması, izlenmesi ve zararlarından korunma ve kaynak geliştirme çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu çalışmalar; gübre kullanım etkinliğinin belirlenmesi (^{15}N , ^{32}P izotopları ile), azot fiksasyonu, bitki kalıntıları, fosfat kayaçları gibi farklı kaynaklardan besin sağlanması, tarımsal kirleticilerin su kaynaklarına karışma yolları, süreçlerinin belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması (^{18}O , ^2H , ^{15}N izotopları ile), pestisit kalıntılarının analizi (^{14}C izotopu ile), toprak erozyonunun belirlenmesi (^{137}Cs , ^{210}Pb , ^7Be izotopları ile), tuz ve kuraklığa dayanıklı bitkilerin seçilmesi (^{13}C izotopu ile), bitki kalıntılarının toprak stabilizasyonuna katılım etkisi ve verimliliğin artırılması (^{13}C ve ^{15}N izotopları ile), iklim ve yağış farklılık ve değişimlerinin belirlenmesi (^{18}O ve ^{36}Cl) ile ilgili çalışmalar olarak sıralanabilir [Anaç ve ark.,2008].

Curt ve arkadaşları (2004), yaptıkları çalışmada $d^{15}\text{N}$ izotop oranlarını kullanarak, azotun organik ve sentetik kaynaklarını ayırmak için kullanmışlardır [Curt ve ark, 2004].

Ostrom ve arkadaşlarının (1998) yaptıkları çalışma sonuçlarına göre, nitratın olası kaynakları (toprak organik madde, yağış, vb) mineralizasyon, nitrifikasyon ve denitrifikasyon olayları ile farklı $d^{15}\text{N}$ oranlarına sahip olabileceğini rapor etmişlerdir [Ostrom ve ark.,1998].

Lindenbaum (2012) Nam Du Hanoi yeraltı sularında amonyumun kaynakları azot ve bor izotopları kullanılarak araştırmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, bazı bölgelerde yeraltı suyuna atık suların infiltrasyon ile karıştığını izotop oranları ile tespit edilmiştir [Lindenbaum, 2012].

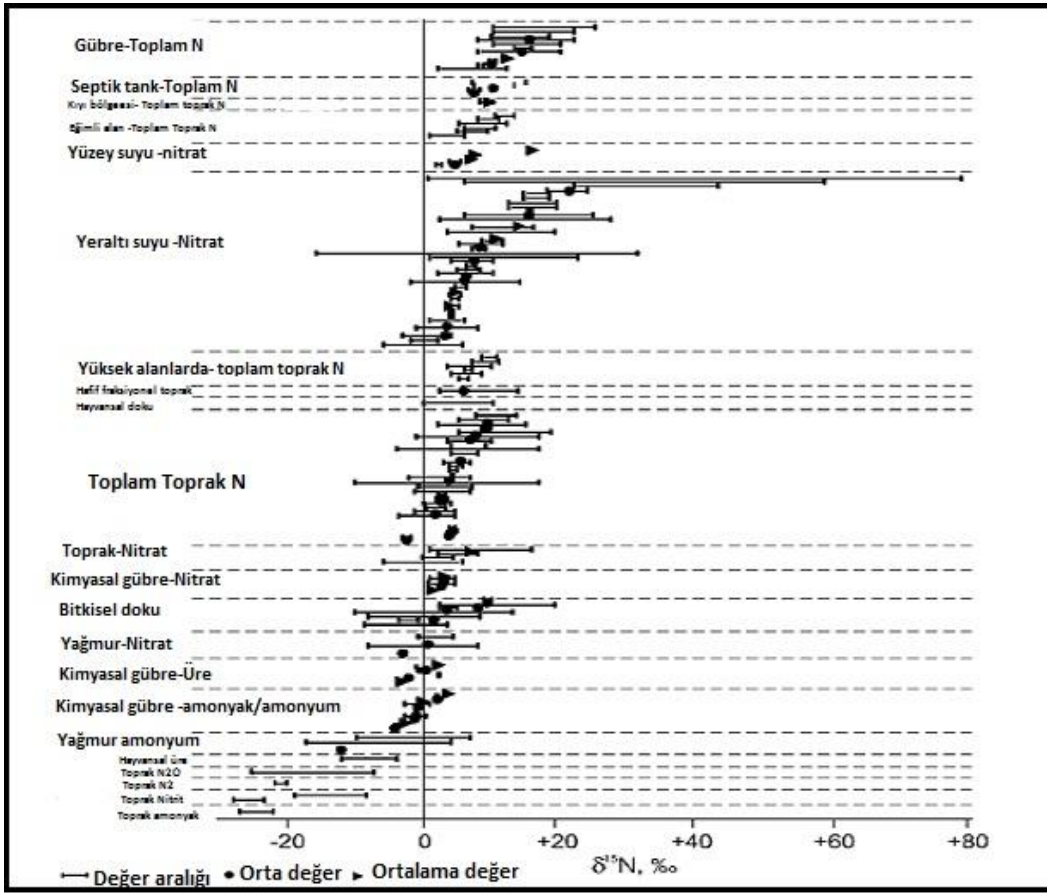
Widory 2003 yılında yaptığı çalışmada, su kirliliğinde yaygın olarak rastlanan nitrat kaynak/kaynaklarını yüzey ve yeraltı suyu örneklerinde ^{15}N , ^{11}B , $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotopları yardımı ile tespit etmeye çalışmıştır. Elde ettiği sonuçlar ise çalışmanın yapıldığı havzada hayvansal gübrelerden kaynaklandığını ortaya koymuştur [Widory ve ark.,2004].

Anaç ve Kukul 'un 2005 yılında azotlu gübre kullanım etkinliklerinin belirlenmesi amacıyla, Ege Üniversitesi kampusu içerisinde bulunan deneme alanından topraklarda, azot izotop izleme yolunu kullanmışlardır. Azotlu gübre kullanım etkinliğinin, tam sulamada çok daha yüksek gerçekleştiğini tespit etmişler ve tam sulamada bile verilen azotlu gübrenin bitki tarafından kullanılma oranının % 33 düzeyinde olduğunu, gübrenin % 67'lik büyük bir bölümü yeraltı ve yerüstü su kaynaklarını potansiyel kirletici olarak toprakta kaldığını ortaya koymuşlardır [Anaç ve Kukul, 2005].

Curt ve arkadaşları, İspanya da azot izotop metodu ile bölgede azot kirliliğinin kaynaklarını tanımlamak ve etkilerini belirlemek amacı ile üç azot kaynağında (sentetik gübre, hayvansan atık ve atıksu arıtma tesislerinden çıkan çamur) $\delta^{15}\text{N}$ izotopları analiz etmişlerdir. Sentetik gübre için ortalama $\delta^{15}\text{N}$ değeri +1.48; hayvansal atık için +15.98, atık çamur için +11.52 olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuçları incelediklerinde hayvan atıklarında (5,86-36,74) ve atıksu arıtma tesisi çamurunda (4,57-20,18) değerlerin çok fazla değişken olduğunu saptamış bu yüzden bu iki kaynağın izotop yöntemi ile ayırt edilemeyeceği ortaya koymuşlardır. Sentetik gübre kaynağının önemli ölçüde organik kaynaklardan farklı olduğunu bu yüzden yöntemin tanımlama için kullanılabilir olduğunu ortaya koymuşlardır [Curt ve ark.,2004].

Biotik ve abiyotik proseslerde ki ^{15}N fraksiyonları, farklı azot kaynaklarının farklı $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ oranına sahip olmasına katkı sağlamaktadır. Nitrat kaynaklarını başlıca hayvansal atıklar, toprak azotu, evsel atıklar ve inorganik

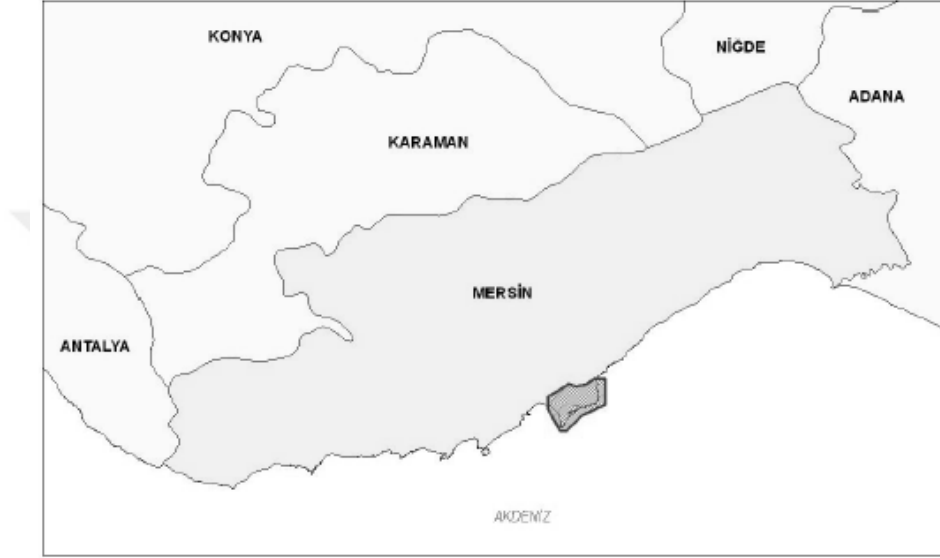
gübreler olarak ayırabiliriz. Azot kaynaklarının izlenmesi için $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ oranına ihtiyaç vardır. Hayvansal atıkların ^{15}N oranı, hayvanların bitkileri tüketmesine bağlı olarak %0 10-20, gübrede %0 0.5-5 arasında, yeraltı sularının ise %0 80- 15 arasında değişmektedir (Şekil 2.15). Metabolik faaliyetler hayvanlarda ^{15}N zenginleştirilmesine sebep olurken, azotun vücuttan atılması ile de azaltılmaktadır [Bedard-Haughn ve ark.,2003].



Şekil 2.15. Farklı azot kaynaklarının ^{15}N oranı [Bedard-Haughn ve ark.,2003].

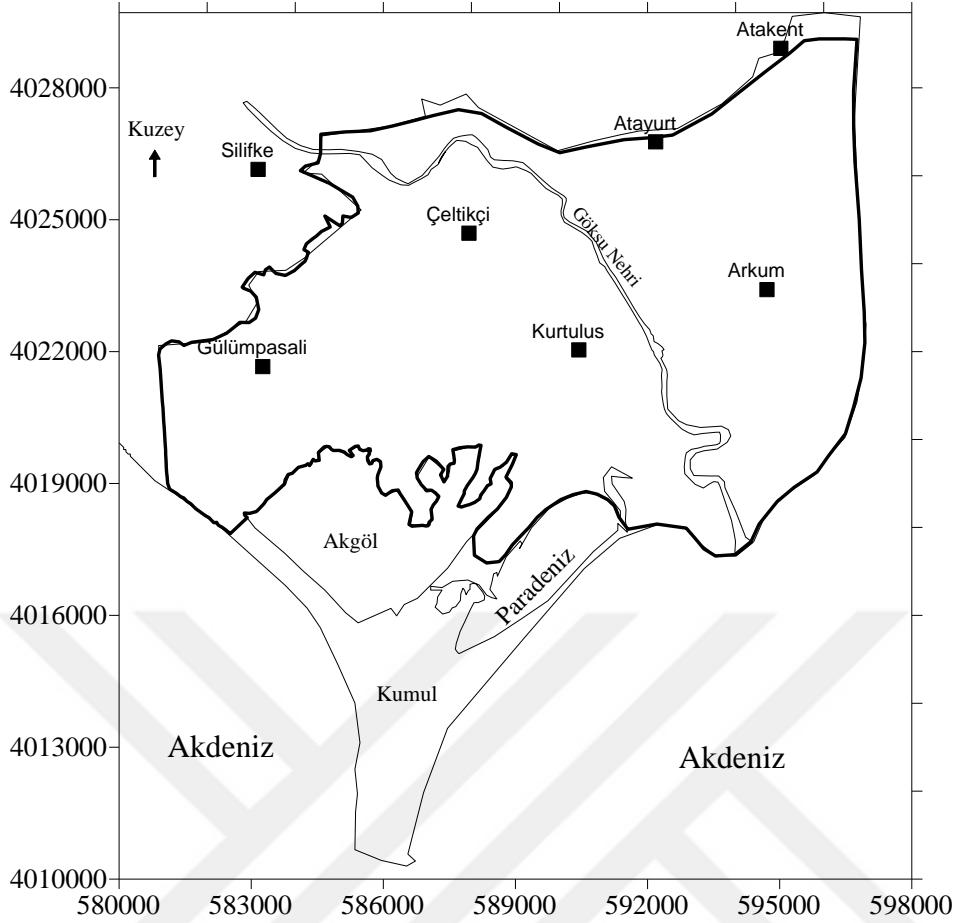
2.7. GÖKSU DELTASI

Göksu Deltası, İçel İli Silifke İlçesi sınırları içerisinde, Ortadoğu ve Avrupa'nın en önemli sulak alanı olan Göksu Deltası, Mersin İl merkezinin 85 km batısında Mersin iline bağlı Silifke İlçesi'nin güney kenarında 33° 17' Kuzey, 35° 59' Doğu koordinatları arasında yer almaktadır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Göksu Deltası Özel Çevre Koruma Bölgesi .

02.03.1990 yılında Özel Çevre Koruma Bölgesi olarak ilan edilen Göksu Deltası Özel Çevre Koruma Bölgesi; Orta Toroslar eteğinde bulunan İçel iline bağlı Silifke ilçesinin güneyinde Göksu Nehri'nin Silifke ve Taşucu arasında denize açıldığı bölgeyi kapsar. Toplam Özel Çevre Koruma Bölgesi alanı 228.5 km² dir. Deltanın sağında iki sığ lagün gölü; Paradeniz ve Akgöl yer alır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. Göksu Deltası Genel Konumu.

Bu alanın 13.804 hektarlık (ha) kısmı kara yüzeyini 1.730 ha alanı ise su yüzeyini oluşturmakta ve delta yüzeyi boyunca rakım değerleri 0–5 m arasında değişmektedir [Göksu Deltası Yönetim Planı, 2009].

Orta Doğunun ve Avrupa'nın en önemli sulak alanlarından biri olan Göksu Deltası, nadir ve nesli tükenme tehlikesi altında olan çeşitli kuş türlerinin yaşam, üreme, beslenme ve konaklama yeridir. Göksu Deltası faunasının çeşitliliğinde ve zenginliğinde, ekolojik yapısının yanında coğrafi konumunun son derece etkili olduğu söylenebilir. Ornitolojik (kuşlar) açıdan çok önemli bir konumda bulunması ve deniz kaplumbağalarının (*Caretta caretta*, *Chelonia mydas*) Akdeniz'de bulunan ana üreme bölgelerinden biri oluşu, Delta'nın önemini daha

da artmasına neden olmaktadır. Tüm bu nitelikleri nedeniyle Ramsar anlaşmasıyla uluslararası koruma statüsüne sahip önemli bir sulak alandır.

2004 yılından itibaren Göksu Deltası'nda; Çevre ve Orman Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü tarafından Av ve Yaban Hayatı Koruma Sahası statüsü iptal edilerek, Göksu Deltası 17/05/2005-25818 tarihinde Resmi Gazetede yayımlanan Sulak Alanların Korunmasına Dair Yönetmelik Kapsamında "Sulak Alan" ilan edilmiştir [Göksu Deltası Yönetim Planı, 2009].

Göksu Nehri; 260 km uzunluğa, 10 400 km² drenaj alanına, yıllık ortalama 130 m³/s debiye sahiptir. Göksu Deltası su kaynakları açısından zengin olup yaklaşık 95000 dekarı sulanmaktadır. 1972 yılında DSİ I. Merhale Sulama Projesi ile 53.225 da alanın sulamaya açılmıştır. Deltada sulanan alanların geriye kalan kısmı ise çiftçilerin I. Merhale Projesinin uç noktaları, yeraltı suyu ve yer yer drenaj kanallarından temin edilen su ile sulanmaktadır [Göksu Deltası Yönetim Planı, 2009].

DSİ sulama ve drenaj kanalları deltanın merkezinde ve kuzey bölümünde yer almakta, Göksu nehrinden alınan sulama sularının bir kısmı drenajla tekrar yüzeysel su sistemine geri dönmektedir. Sulama sonunda araziden toplanan drenaj suyu, deltanın güney bölümünde bulunan Akgöl ve Paradeniz göllerine veya Göksu nehrine deşarj edilmektedir. Akgöl'ün yüzey alanı yaklaşık 800 ha olup, genellikle tatlı ve hafif tuzlusu arası su cinsine sahip iken, Paradeniz'in alanı 602 ha olup, genellikle hafif tuzlu ve tuzlu arası su cinsine sahiptir [Haar ve Heunks, 1992]. Bu iki göl suni olarak yapılmış bir kanal ile birbirlerine bağlanmışlardır.

Bölge yeraltı ve yerüstü kaynakları açısından oldukça zengindir. Mevcut dereler, kaynaklar, yeraltı suları genel olarak tarımsal kirlenmeye açıktır. Göksu Deltası'nda kontrolsüz olarak devam eden tarımsal faaliyetler, Göksu Nehri'ni regülatör çıkışından denize döküldüğü alana kadar tehdit etmektedir. Bölge

tamamıyla Akdeniz kıyısında olmasından dolayı yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçen tipik Akdeniz iklimi özelliği göstermektedir.

Bu tez kapsamında Deltada yüzey ve yeraltı sularının kalitesini olumsuz yönde etkileyen aktivitelerden olan; bilinçsiz gübre ve pestisit kullanımı, yerleşim yerlerinden çıkan atıksular ile ilgili bilgi toplanmaya çalışılmıştır. Ayrıca Delta ile ilgili olarak diğer bilgiler (nüfus, hayvancılık, avcılık ve balıkçılık) araştırılmıştır.

2.7.1. Nüfus

Göksu Deltası Özel Çevre Koruma Bölgesinde yaklaşık 30.000 kişi yaşamaktadır. Yaz sezonunda yazlıkçıların gelmesiyle bu rakamın 80.000'e ulaştığı tahmin edilmektedir.

20.03.2010 tarihinde 27527 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliğinin 8. Maddesine göre; Türkiye'de nüfusa bağlı olarak atıksu oluşumu ve kirlilik yükleri değişimi Çizelge 2.2'de verilmiştir. Nüfusu 100.000'e kadar olan yerleşim birimlerinin atıksularının arıtma tesisleri tasarımında yaz ve kış ayları ile kurak hava şartlarını temsil edecek debi ve 24 saatlik karakterizasyon ölçüm değerleri bulunmaması durumunda Çizelge 2.2'deki debi ve kirlilik yükleri esas alınır.

Çizelge 2.2. Nüfusa bağlı olarak atıksu oluşumu ve kirlilik yüklerinin değişimi, [Çevre ve Orman Bakanlığı, AATTUT, 2010].

Nüfus aralığı	Atıksu Oluşumu L/kişi.gün	KOİ g/kişi-gün	BOİ g/kişi-gün	AKM g/kişi-gün	TN g/kişi-gün	TP g/kişi-gün
2000- 10000	80	55	40	35	5	0.9
10000-50000	90	75	45	45	6	1.0
50000-100000	100	90	50	50	7	1.1

* Kirlilik yüklerinin konsantrasyon olarak ifadesinde infiltrasyon debisi de dikkate alınır.

Çizelge 2.3.' de 1990, 1997, 2000 ve 2007 nüfus sayımlarına göre alanda ki yerleşim birimleri ile nüfusları verilmiştir.

Çizelge 2.3.Yerleşim Birimleri ve Nüfus Dağılımı.

Yerleşim Birimi	1990	1997	2000	2007
Silifke	46.858	85.039	64.827	52.961
Taşucu	6.743	8.532	10.455	7.820
Atakent	4.725	12.238	14.553	5.612
Atayurt	6.816	12.873	7.120	7.403
Arkum	1.455	2.252	3.593	2.359
Ulugöz	567	805	509	656
Çeltikci	353	205	406	348
Bahçe	204	241	239	180
Kurtuluş	1.232	1.166	1.301	1.105
Sökün	772	677	640	534
Gülümpaşalı	588	544	516	429
TOPLAM	70.313	124.502	104.159	79.407

Kaynak: Silifke İlçe Nüfus Müdürlüğü, 2007

2007 yılında yapılan nüfus sayımlarına göre yerleşim birimleri ile nüfusları ve oluşabilecek atıksu miktarı hesaplanıp, aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4. Yerleşim birimleri ve nüfus dağılımı ve oluşabilecek atıksu miktarı.

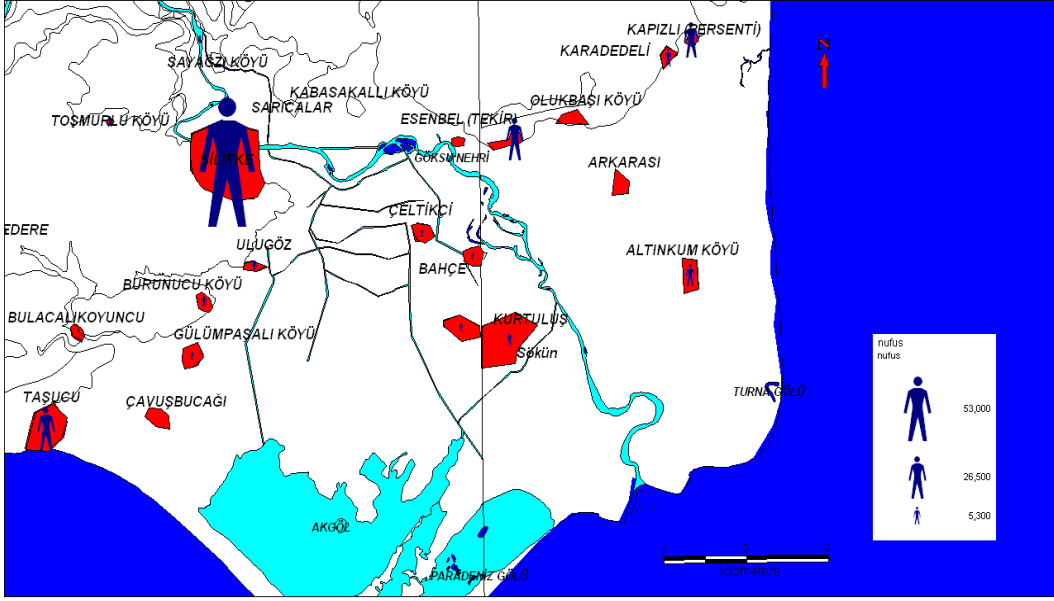
Yerleşim Birimi	Nüfus	Kişi Başı Tüketilen Su Miktarı (L/kişi.gün) *	Atıksu Miktarı (m ³ /gün)
	A	B	C = (A x B)/1000
Silifke	52.961	100	5.296,10
Taşucu	7.820	80	625,60
Atakent	5.612	80	448,96
Atayurt	7.403	80	592,24
Altınkum	2.359	80	188,72
Ulugöz	656	80	52,48
Çeltikçi	348	80	27,84
Bahçe	180	80	19,12
Kurtuluş	1.105	80	88,40
Sökün	534	80	42,72
Gülümpaşalı	429	80	34,32
Toplam	79.407		7.411,78

* 20.03.2010 tarihinde 27527 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliğinin 8. Maddesine göre alınmıştır.

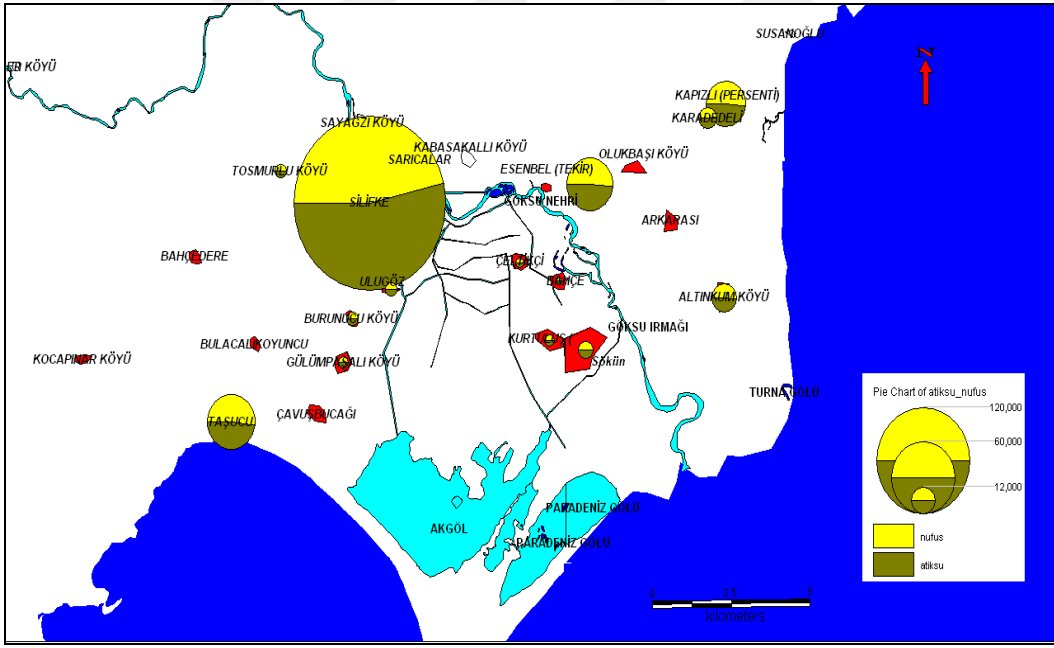
Göksu Deltasında; Silifke ilçesinde 2007 yılından bugüne faaliyette olan Silifke Atıksu Arıtma Tesisi bulunmaktadır. 52.961 kişinin oluşturduğu 5.296,10 m³/gün 'lük atıksu, Atıksu Arıtma Tesisinde arıtılmakta ve daha sonra Göksu Nehri'ne deşarj edilmektedir [Demirel vd., 2011].

Silifke şehir merkezinin nüfusu dışındaki 26,446 kişi'nin, 2,115.68 m³/gün 'lük atıksuları fosseptikte toplanmaktadır. Fosseptikte toplanan atıksular zamanla sızmakta ve yer altı suyuna karışabilmektedir.

Nüfus verileri ile hesaplanan atıksu miktarları ile ilgili, bir Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı olan MapInfo programı kullanarak tematik haritalar oluşturulmuştur (Şekil 2.18 -2.19).



Şekil 2.18. Göksu Deltası nüfus yoğunluğu haritası (2007 verileri).



Şekil 2.19. Göksu Deltası nüfus ve atıksu tematik haritası.

2.7. 2. İklim

Bölgede yarı-kurak Akdeniz iklimi hâkimdir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar yağışlı ve ılık geçmektedir. Yıllık toplam yağış 557,1 mm iken uzun yıllara ait yıllık ortalama buharlaşma miktar aylık olarak 48 mm (ortalama sıcaklık 24,9 °C) dir. Yıl boyunca yüksek nem oranı kıyı ovasının tipik özellikleridir [Göksu Deltası Yönetim Planı, 2009].

Eskiden beri Göksu Deltası, batıdan esen siklonik Lodos ve Göksu vadisinden esen Poyraz gibi sert rüzgârları ile tanınır. Akdeniz'in başka bölümlerinde olduğu gibi Göksu'nun yerel rüzgârları dağ zincirlerinin ve aralarındaki boşlukların konumu nedeni ile oluşmaktadır. Türkiye'nin Akdeniz sahili boyunca yer alan üç büyük boşluk rüzgârların oluşumuna etki eder. (Antalya Körfezi, Göksu Nehri Vadisi, İskenderun Körfezi). Bu siklonlar özellikle kış aylarında görülürler [Göksu Deltası Yönetim Planı, 2009].

Sıcak deniz suyu üzerinde esen soğuk ve kuru Poyraz, sıcaklık düşmeleri yaratarak deniz suyunda orta derinliklere ulaşan batma hareketi yaratır. Bu süreç Akdeniz'in genel fiziksel ve ekolojik karakterleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Deniz suyundaki besinlerin bu yolla taşınması, Doğu Akdeniz'in balık potansiyelinin zayıf olmasının başlıca sebebidir.

Yaz ayları boyunca bölgede devamlı değişen bir rüzgâr sistemi vardır. Kara ile deniz arasındaki sıcaklık farklarından dolayı meltemler oluşur. Gün boyunca denizden karaya doğru sert bir rüzgar eser, gece ise yön değişir.

Yılda ortalama 557,1 mm yağış düşer. Yağmur mevsimi, Aralık Ayı en yağışlı ay olmak üzere Kasım Ayından Mart Ayına kadardır. Buharlaşmanın en yoğun olduğu aylar Haziran - Temmuz arasındadır, en düşük olduğu aylar ise Aralık ve Şubat aylarıdır. Yıl boyunca ortalama % 60 ile % 70 arasında olan havanın

nispi nem oranı, büyük ölçüde rüzgârın yönüne bağlıdır. Bölgedeki hakim rüzgar kuzeybatıdan estiğinde karadan kuru havayı getirir ve nem oranı % 35-40 `lara düşer. Hava durgun olduğunda veya meltemler estiğinde nem oranı yükselir. Mayıs ile Ekim sonu arasında geniş çeltik tarlalarının önemli bir katkısı olmasına rağmen yüksek nem oranının başlıca sebebi, nehir ve lagünlerden ziyade denizdir.

İklim parametrelerinin çoğu Akdeniz'in normal sistemine uygunluk göstermektedir. Normal dışı olan özellikler özellikle kışın bölgeyi etkisi altına alan sert rüzgârlar ile yazın yüksek nispi nemidir. Silifke bölgesinde geleneksel göçebe hayattan yerleşik yaşama geçişin geç başlamış olması, bahsedilen yerel iklim şartlarıyla yakından ilgilidir. Yaz aylarındaki yüksek nem ve sıcaklık insan yerleşimini zorlaştırmış, rüzgârlar tarımsal gelişmeyi engellemiştir.

Tuz zerrecikleri kıyı bölgesinde özellikle sebzeler açısından, tarımsal imkânları kısıtlar. Muz bölgede pek yetişmez ve sert rüzgârlar seralara sürekli zarar verir. Meyve bahçeleri için rüzgâr kıranlara ihtiyaç vardır. İklimin elverişsiz olduğu düşünüldüğünden limon ağaçlarının bölgeye gelişi gecikmiştir. Ağustostaki kum fırtınaları da ova sakinlerine büyük rahatsızlık verir [Göksu Deltası Yönetim Planı, 2009]. .

Yerel iklimin bir başka sonucu da bölgenin kış ve deniz ağırlıklı yaz turizmine Türkiye'nin batı ve güneybatı sahilleri kadar elverişli olmamasıdır. Yazın, Haziran Ayı sonundan Eylül Ayı ortasına kadar hava çok sıcak, tozlu ve nemli, kışın ise Kasım Ayı sonundan Mart Ayı başına kadar çok soğuk ve rüzgârlıdır. Buna rağmen, delta yazın çok turist çeker ve kıyı boyunca büyük çaplı yazlık ev inşaatları yapılmıştır. Bölgenin İklim İstatistikleri (1931–2003) Çizelge 2.5'de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Bölgenin uzun yıllar iklim istatistikleri (1931–2003) [Çobaner, 2009].

AYLAR	Sıcaklık °C			Ortalama Değerler			
	En Yüksek	En Düşük	Ortalama	Nispi Nem (%)	Buharlaşma (mm)	Yağış (mm)	Rüzgar Hızı (m/sn)
Ocak	15,1	7,6	10,2	59,2	3,0	114,3	3,3
Şubat	16,2	8,0	10,9	60,0	2,9	91,9	3,3
Mart	19,1	9,8	13,4	61,0	3,9	51,2	2,7
Nisan	22,2	12,5	17,1	63,0	3,7	25,4	2,2
Mayıs	29,9	17,9	21,2	65,0	4,5	18,8	1,8
Haziran	30,9	21,3	25,2	65,0	7,4	4,0	1,8
Temmuz	33,7	23,6	27,8	66,0	8,1	1,4	2,0
Ağustos	33,2	23,6	28,0	65,0	7,0	1,7	2,1
Eylül	31,0	21,1	25,5	59,0	5,6	3,2	2,3
Ekim	29,1	18,1	14,2	56,0	4,9	37,6	2,6
Kasım	24,4	14,2	16,0	58,0	3,5	76,9	2,9
Aralık	13,6	6,7	11,7	61,0	2,5	130,7	2,9
Toplam					570	557,1	
Ortalama	24,9	15,4	19,0	61,5	48	46,4	2,5

2.7.3. Hayvancılık

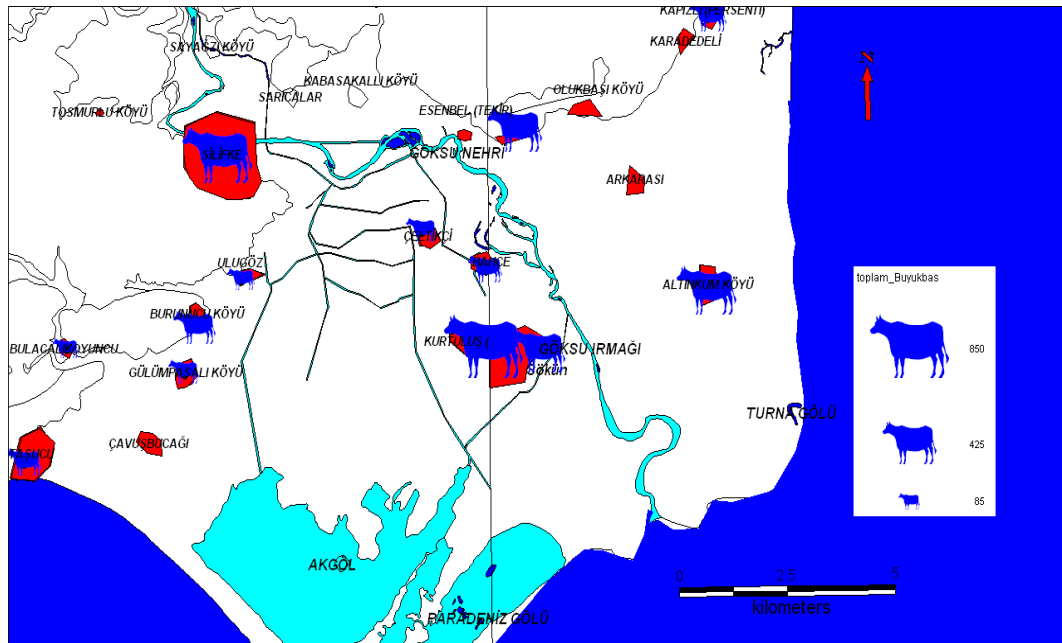
Bölgedeki tarımsal faaliyetler içerisinde ikinci sırada gelen hayvancılık; yüksek kesimlerde mera, ovalık kesimlerde ahır hayvancılığı şeklindedir. Üretilen süt; süt ve süt ürünleri olarak tüketilmektedir. Kümes hayvanları yetiştiriciliği genellikle aile işletmeciliği şeklindedir [Göksu Deltası Yönetim Planı, 2009].

İller Bankası Talimatname 3'e göre İnsan ve Hayvan Su İhtiyacı - Kişi Başına Su Gereksinimi; Büyükbaş hayvanlar için hayvan başına günde 50 L, küçükbaş hayvanlar için ise günde 15 L su ihtiyacı düşünülür. Özel hallerde hayvancılıktaki gelişme imkânı göz önüne alınır. Kuyu, dere veya gölden hayvan su ihtiyacının karşılanabilmesi hallerinde hesaplarda hayvan ihtiyacı dikkate alınmayabilir (Çizelge 2.6).

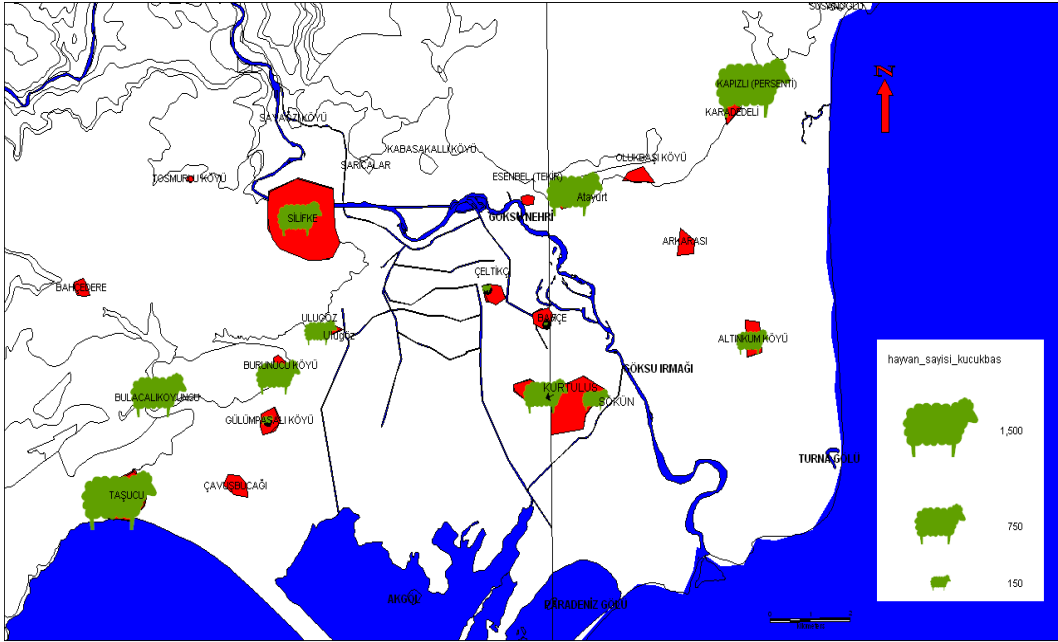
Yöre halkı için hayvancılık ekonomik olarak önemli bir gelir kaynağı niteliği taşımamakta olup, kendi ihtiyaçlarını karşılamak için hayvancılıkla uğraşmaktadırlar. Delta da hayvan varlığı [Göksu Deltası Yönetim Planı, 2009] ve günlük su ihtiyacını gösteren çizelge ve haritalar aşağıda verilmiştir (Çizelge 2.6, Şekil 2.20, 2.21, 2.22).

Çizelge 2.6. Delta'da hayvan varlığı ve günlük su ihtiyacı.

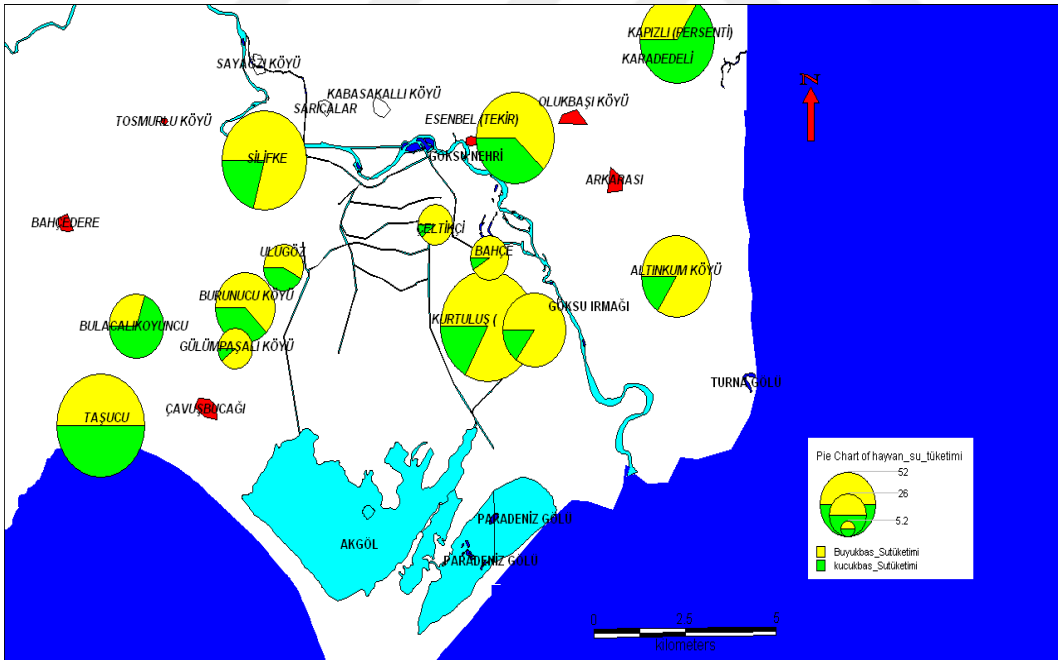
Yerleşim Yerleri	Toplam Büyükbaş Sayısı	Büyükbaş Su İhtiyacı (L)	Büyükbaş Su Tüketimi (m ³ /gün)	Küçükbaş Su İhtiyacı (L)	Toplam Küçükbaş Sayısı	Küçükbaş Su Tüketimi (m ³ /gün)
Atakent	235	50	11,75	15	1500	22,50
Altınkum	525	50	26,25	15	350	5,25
Atayurt	450	50	22,50	15	900	13,50
Sökün	435	50	21,75	15	250	3,75
Çeltikçi	160	50	8,00	15	40	0,60
Bahçeköy	190	50	9,50	15	10	0,15
Kurtuluş	850	50	42,50	15	600	9,00
Silifke	680	50	34,00	15	600	9,00
Ulugöz	130	50	6,50	15	350	5,25
Burunucu	290	50	14,50	15	600	9,00
Gülümüşah	160	50	8,00	15	60	0,90
Bolacalılıkoyuncu	120	50	6,00	15	900	13,50
Taşucu	200	50	10,00	15	1500	22,50
TOPLAM	4.25		221,25		7660	114,90



Şekil 2.20. Delta yerleşim yerlerine göre büyükbaş hayvan sayısı dağılımı.



Şekil 2.21. Delta yerleşim yerlerine göre küçükbaş hayvan sayısı dağılımı.



Şekil 2.22. Delta yerleşim yerlerine göre büyükbaş ve küçükbaş hayvan su tüketim haritası.

2.7.4. Avcılık ve Balıkçılık

Bölgede balıkçılık Akgöl, Paradeniz lagünleri ile kıyı balıkçılığı şeklinde yapılmaktadır. Akgöl’de yılan balığı (**Anguilla anguilla**), haskefal (**Mugil cephalus**), Karabalık (**Clarias lazera**) ve sazan (**Cypinus carpio**) avlanmaktadır. Paradeniz’den ise çipura (**Sparus auratta**), deniz levreği (**Dicentracus labrax**), sinagrit (**Dentex dentex**), sivriburun (**Cantharus lineatus**), karagöz (**Diplodus vulgaris**), melenurya (**Oblada meleruda**) sarıgöz (**Diplodus sargus**), Çizgili mercan (**Lithognatus mormyrus**), mercan (**Pagrus pagrus**) avlanmaktadır (Çizelge 2.7) [Göksu Deltası Yönetim Planı, 2009].

Çizelge 2.7. Deltada 2000–2004 yılları arasında avlanan balık tür ve miktarları (kg) [Göksu Deltası Yönetim Planı, 2009].

Yıllar	Avlanan Balık Türleri						Toplam
	Kefal	Yılan B.	Levrek	Çupra	Çıplak	Diğer	
2000	23.249	2.762	2.983	1.625	368	-	30.987
2001	30.153	490	2.580	4.850	707	-	38.780
2002	36.940	2.223	2.216	2.227	2.043	2.133	47.782
2003	26.629	3.652	2.808	1.898	1.100	2.077	38.164
2004	32.625	3.445	3.872	4.020	251	122	44.335
Toplam	149.596	12.572	14.4549	14.620	4.469	4.332	200.048

Çizelge 2.7 incelendiğinde bölgede en fazla kefalın avlandığı, levrek ve çipuranın ise zaman zaman yer değiştirerek kefali takip ettiği görülmektedir.

2007-2008 döneminde Akgöl de görülen sığlaşmanın avlanan balık miktarını olumsuz etkilediği bölge balıkçıları tarafından ifade edilmektedir. Bölgede balıkçılık, tarım ve hayvancılıktan sonraki en önemli gelir kaynağıdır. Hurma Mahallesi'nin tamamına yakını, geçimini balıkçılıktan temin etmektedir.

Bunun dışında balıkçılıkla uğraşan insanların tamamının temel gelir kaynağının yanında balıkçılık ikincil derecede gelir kaynağıdır.

Ayrıca bölgede ekonomik olarak gelir getiren diğer bir su ürünü ise mavi yengeçtir. Bölgede özellikle dalyanda her yıl bol miktarda yakalanmaktadır. Son yıllarda özellikle Kuğu Gölünde su seviyesinin çok düşmesi sonucunda kış şartlarından korunamayan yengeçlerin sayısında çok fazla düşüş gözlemlendiği balıkçılar tarafından ifade edilmektedir.

2.7.5. Tarım

Tarım, deltada yaşayanların %80'den fazlasının 1. derecede gelir kaynağıdır. Sulama probleminin çok az olduğu deltanın yaklaşık 10.000 hektarında tarım yapılmaktadır. Bölgede iklimsel özelliklerinden dolayı iki yılda beş ürün alınmaktadır. Meyvelerde narenciye ve çilek, sebzelerde domates ve tahıllardan buğday ve çeltik en fazla yetiştirilen ürünlerdendir. Şekil 2.23 Göksu Deltası Özel Çevre Koruma Bölgesi (ÖÇKB) Alan Kullanımları Haritası, tarımsal ürün desenini göstermektedir [Göksu Deltası Yönetim Planı, 2009].

mısır, bostan gibi ürünlerin tarımı yapılmaya başlamıştır [Göksu Deltası Yönetim Planı, 2009].

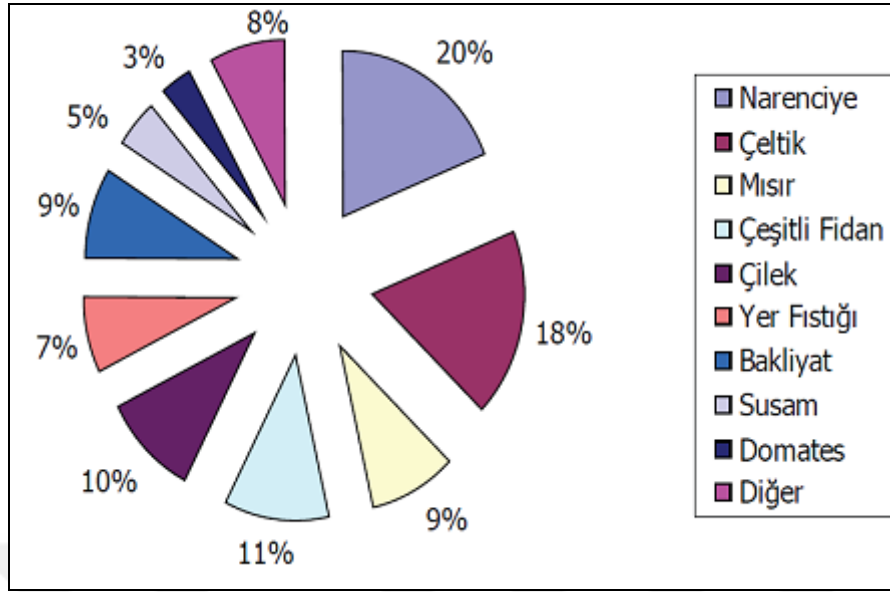
Narenciye, çilek ve seracılık gibi birim alandan elde edilen kâr miktarı yüksek olan ürünlerin ekiminin yapıldığı alanların artmaya başlaması ile üreticiler birim alandan daha fazla ürün elde etmek için hastalık ve zararlılarla mücadelede yoğun bir şekilde zirai mücadele ilaçları kullanılmaya başlanmıştır.

Göksu Deltası Özel Çevre Koruma Bölgesi sınırları içindeki tarımsal uygulamalarda elde edilen ürün artışını sağlamak amacıyla kullanılan kimyasal ilaçların doğal çevreye olumsuz etkileri ve kullanılan kimyasal ilaçların tür ve miktarlarının belirlenmesi konusundaki çalışmalar istenen düzeyde olmamakla birlikte birçok yüksek lisans ve doktora tezleri ile durumun ciddiyeti ortaya konmuştur [Göksu Deltası Yönetim Planı, 2009].

Göksu Deltası'nda başta;

- Çilek ve limon olmak üzere 24 adet meyve türü,
- Bakla, lahana, açık tarla domatesi olmak üzere 20 tür sebze türü,
- Buğday, çeltik, mısır, susam ve yarfıstığı başta olmak üzere deltada 16 tür tarla bitkileri türü yetiştiriciliği yapılmaktadır.

Tarımsal ürünlerin alan içindeki dağılımı Şekil 2.24'de gösterilmiştir.



Şekil 2.24. Tarımsal Ürünlerin Alan İçindeki Dağılımı [Göksu Deltası Yönetim Planı, 2009].

Bitkisel üretim için yaklaşık **9200 ha** toprak işlenmektedir. Kişi başına **7,5 da** tarım arazisi düşmektedir.

Ortalama arazi büyüklüğü ise **1,3 ha**'dır. Tarımsal çalışmalar tarla ve bahçe tarımında yoğunlaşmış durumdadır. Tarımsal potansiyelin belirlenmesinde rol oynayan toprak yapısı ve iklim, üretim deseninin çeşitlenmesine ve üretim miktarının artmasına neden olmaktadır. Bu özellikler (toprak ve iklim) çeşitli tarım ürünlerinin yetişmesine imkân vermektedir [Göksu Deltası Yönetim Planı, 2009].

Göksu Deltası'nın bu yapısı, bir yandan buğday ve arpa gibi karasal iklim bitkilerinin diğer yandan yer fıstığı, turunçgiller ve turfanda sebzeler gibi sıcak iklim bitkilerinin yetişmesine imkân veren çok zengin bir tarımsal yapı oluşturmaktadır. Göksu Deltası'nda DSİ 62. Şube Müdürlüğü'nün şebekesi ile sulanabilen ürünler ve yetiştirilme alanları Çizelge 2.8' de verilmiştir.

Çilek bugün Delta'da karlılığı en yüksek olan **“birinci ürün”** konumundadır. Domates en yaygın olarak yetiştirilen ürün olmasına karşın, karlılığı çileğe oranla düşük olduğundan **“ikinci tercih”** konumundadır.

Delta çilek üretiminde Akdeniz Bölgesinde yaklaşık **%50**, limonda Türkiye üretiminde yaklaşık **%6**'lık bir paya sahiptir. Susam, yerfıstığı, çeltik ve mısır ikinci ürün olarak ekilmektedir. Özellikle çilek ve limonun diğer ürünlere nazaran ekonomik getirisi daha fazla olduğundan üretim alanlarında artışlar gözlenmektedir.

Son yıllarda bölgede böğürtlen ve nar bahçelerinde de artış yaşanmaktadır. Bölgemizde bitkisel üretim planlaması yapılmamaktadır. Üretim geleneksel olarak ve o yıl Pazar fiyatlarına göre yapılmaktadır. Özellikle 1996 ve 1997 yıllarında limon yetiştiriciliğinin çok karlı olması yüzünden Delta'daki limon üretim alanlarında yaklaşık **%20**'lik artış meydana gelmiştir. Yerfıstığı ve susam da geleneksel olarak tarımı yapılan bitkiler arasındadır. Göksu Deltası su kaynakları açısından zengin olup yaklaşık 9500 hektarı sulanmaktadır. 1972 yılında DSİ I. Merhale Sulama Projesi ile 53.225 da alanın sulamaya açılmıştır. Deltada sulanan alanların geriye kalan kısmı ise çiftçilerin I. Merhale Projesinin uç noktaları, yeraltı suyu ve yer yer drenaj kanallarından temin edilen su ile sulanmaktadır [Göksu Deltası Yönetim Planı, 2009].

Çizelge 2.8. Göksu Deltası'nda DSİ 62. Şube müdürlüğünün şebekesi ile sulanabilen ürünler ve yetiştirilme alanları [Göksu Deltası Yönetim Planı, 2009].

Ürün Adı	Sağ Sahil (da)	Sol Sahil (da)	Toplam (da)
Narenciye	7.305	3.220	10.525
Çeltik	9.613	550	10.163
Mısır	3.840	1.230	5.070
Çilek	2.695	2.838	5.533
Yer Fıstığı	2.687	1.472	4.159
Bakliyat	2.348	2.560	4.908
Susam	1.360	1.350	2.710
Domates	197	1.600	1.797
Diğer	4.144	391	4.535
TOPLAM	37.869	17.779	55.648

Not: Yaklaşık 40000 dekar tarım alanı, vatandaşların kendi imkânları ile sulanmaktadır.

Deltada pestisit grubundan en fazla etili madde olarak 39.330 kg ile yazlık yağ'lar kullanılmıştır. Bunu 20.263 kg insektisitler ve 10.432 kg ile fungusitler takip etmektedirler. En az olarak da 378 kg ile mollussisitler ve 772 kg ile nematosit ve toprak fumigantları kullanılmıştır. Tarım alanlarında 102 çeşit pestisit kullanılmıştır. Çeşitliliği en fazla olanlar ise; 46 çeşit ile fungusitler bunu 27 çeşit ile insektisitler ve 10 çeşit ile herbisitler takip etmektedir.

Çizelge 2.9. 1996 ve 1999 yıllarında Göksu Deltası'nda Etkili Madde Bazında Pestisit Kullanımı (kg/L) [Göksu Deltası Yönetim Planı, 2009].

Pestisit Grubu	1996	1999
İnsektistler	16050	20263
Akarisitler	4568	3315
Nematosit ve Toprak Fümigantı	126	772
Mollussisitler	204	378
Yağlar	42415	39330
Herbisitler	5543	10402
Fungusitler	6663	9896
TOPLAM	75569	84356

Göksu Deltası'nda etkili madde olarak tüketilen zirai ilaç miktarlarının pestisit gruplarına göre 1996 ve 1999 verilerini gösteren Çizelge 2.9 incelediğinde, deltada pestisit kullanımının üç yılda yaklaşık %11 kadar arttığı anlaşılmaktadır. Bu artışın nedenleri olarak;

- Deltada narenciye, çilek ve örtü altı yetiştiriciliğinin artması,
- Üreticilerin pazara yönelik üretim yapmaları,
- Çiftçilerin alım güçlerinin yüksek olması,
- Kimyasal ilaçların etkilerini hemen göstermeleri sayılabilir.

Deltada çok çeşitli pestisit kullanılmakla beraber , bu pestisitlerin bileşimi Çizelge 2.10 'da verilmiştir.

Çizelge 2.10. Göksu deltasında kullanılan pestisit bileşimleri [Demirel, 2008].

Kimyasal Grup	Etkili Madde Adı	Bileşim	Preparat	Etkili Madde
İnsektisit Klorlu Hidrokarbonlar	Endosülfan	$C_9H_6Cl_6O_3F$	4390	1496
	Azinphos-Methyl	$C_{10}H_{12}N_3O_3PS_2$	550	137
Organik Fosforular	Chlorpyrifos-Ethyl	$C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$	10540	4878
	Diazinon	$C_{12}H_{21}N_2O_3PS$	740	268
	Dichlorvos	$C_4H_7Cl_2O_4P$	1490	820
	Malathion	$C_{10}H_{19}O_6PS_2$	1330	289
	Methamidophos	$C_2H_8NO_2PS$	2830	1698
	Methidathion	$C_6H_{11}N_2O_4PS_3$	2130	907
	Monocrotophos	$C_7H_{14}NO_3P$	635	254
	Parathion-Methyl	$C_{10}H_{14}NO_5PS$	10750	3870
	Phoshamidon	$C_{10}H_{19}ClNO_3P$	680	340
	Trichlorfon	$C_4H_8Cl_3O_4P$	100	80
	Karbamatlılar	Carbaryl	$C_{12}H_{11}NO_2$	1210
Carbosulfan		$C_{12}H_{15}NO_3$	4545	1136
Primicarb		$C_{11}H_{18}N_4O_2$	200	100
Sentetik Piretroitler	Bifentrin	$C_{23}H_{22}ClF_3O_2$	380	38
	Cypermethrin	$C_{22}H_{19}Cl_2NO_3$	1615	404
	Deltamethrin	$C_{22}H_{19}Br_2NO_3$	2565	641
	Lambda-Cyhalotrin	$C_{23}H_{19}ClF_3NO_3$	970	485
	Lambda-Cyhalotrin+Buprofezin	$C_{23}H_{19}ClF_3NO_3 + C_{16}H_{23}N_3O_5$	590	71
Benzoyl Üreler	Chlorfluzuron	$C_{20}H_9Cl_3F_5N_3O_3$	1925	96
	Hexaflumuron	$C_{16}H_8Cl_2F_6N_2O_3$	520	52
Diğerleri	Acetamiprid		430	86
	Chlorfenapyr		638	230
	Cyromazine	$C_6H_{10}N_6$	85	64
	Imidacloprid	$C_9H_{10}ClN_5O_2$	1345	471
	Pymetrozine		2	-
	Thiocyclan hydrogen oxalate	$C_7H_{13}NO_4S_3$	645	323
Akarisitler Halojen ve Oksijenliler	Bromopropylate	$C_{17}H_{16}Br_2O_3$	1810	905
	Dicofol	$C_{14}H_9Cl_5O$	4820	940

Çizelge 2.10 devamı. Göksu deltasında kullanılan pestisit bileşimleri [Demirel, 2008].

Amin ve Hidrazin Türev	Amitraz	$C_{19}H_{23}N_3$	365	73
Kükürtlüler	Quinomethionate		365	91
	Tedradifon	$C_{12}H_6Cl_4O_2S$	870	654
Organik Kalaylılar	Fenbutation Oxide	$C_{60}H_{78}OSn_2$	765	421
	Cyhexatin	$C_{18}H_{34}OSn$	38	24
Diğerleri	Abamectin	$C_{48}H_{72}O_{14}$	315	6
	Clofentezine	$C_{14}H_8Cl_2N_4$	125	63
	Fenazaquin	$C_{20}H_{22}N_2O$	160	32
	Fenpyroximate	$C_{24}H_{27}N_3O_4$	375	19
	Hexythiazox	$C_{17}H_{21}ClN_2O_2S$	865	43
	Hexythiazox+Fenpropathrin	$C_{17}H_{21}ClN_2O_2S + C_{22}H_{23}NO_3$	10	1
	Pyrimidifen		75	8
	Tebufenpyrad		175	35
Nematosit iganti	Cadusafos	$C_{10}H_{23}O_2PS_2$	4480	448
	Fenamiphos	$C_{13}H_{22}NO_3PS$	810	324
Mollussisitler Yazlık Yağ	Metaldehyde	$C_8H_{16}O_4$	9440	378
	Yazlık Yağ		46270	39330
Fungisit Koruyucu Bakırlılar	Bakırhidroksit	CuH_2O_2	102	79
	Bakı Oksit		565	283
	Bakır Oksiklorür	$ClCu_2H_3O_3$	2725	1363
	Bakır Oksiklorür+Maneb	$ClCu_2H_3O_3 + C_4H_6MnN_2S_4$	105	60
	Bakır Tuzları+Mancozeb+Kükürt	$(SCS.NHCH_2CH_2NHCS.SMn-)_x(Zn)_y$	1200	492
	Bakır Tuzları+Mancozeb	$(SCS.NHCH_2CH_2NHCS.SMn-)_x(Zn)_y$	125	89
Dicarboximid- Phtalimidle	Captan	$C_9H_8Cl_3NO_2S$	1490	745
	Iprodione	$C_{13}H_{13}Cl_2N_3O_3$	203	102
	Procymidone	$C_{13}H_{11}Cl_2NO_2$	584	292
Dithiokarbamatlar	Mancozeb	$(SCS.NHCH_2CH_2NHCS.SMn-)_x(Zn)_y$	1057	780
	Maneb	$C_4H_6MnN_2S_4$	1470	1176
	Metiram		400	320

Çizelge 2.10 devamı. Göksu deltasında kullanılan pestisit bileşimleri [Demirel, 2008].

Nitro Bileşikler	Chlorothalonil+Carbendazim	$C_8C_{14}N_2 + C_9H_9N_3O_2$	5	3
	Chlorothalonil+Copperoxychlori.	$C_8Cl_4N_2 + ClCu_2H_3O_3$	107	54
	PCNB		280	50
Diğerleri	Cyprodinil+Fludioxonil		440	275
	Dichlofluanid	$C_9H_{11}Cl_2FN_2O_2S_2$	295	148
	Dodine	$C_{15}H_{33}N_3O_2$	10	7
	Pyrimethanil		60	18
Sistemik Fungisit	<i>Cymoxanil+Propinep</i>	$C_7H_{10}N_4O_3 + C_5H_8N_2S_4Zn$	50	37
Amin ve Amidler	Cymoxanil+Mancozeb	$C_7H_{10}N_4O_3 + (SCS.NHCH_2CH_2NHCS.SMn-)_x(Zn)_y$	295	148
	Metalaxy+Mancozeb	$C_{15}H_{21}NO_4 + (SCS.NHCH_2CH_2NHCS.SMn-)_x(Zn)_y$	700	504
Benzimidazoller	Benomyl	$C_{14}H_{18}N_4O_3$	1525	763
	Carbendazim	$C_9H_9N_3O_2$	360	180
	Propamocarb Hydrochloride	$C_9H_{21}ClN_2O_2$	208	150
	Thiophanate-Methyl	$C_{12}H_{14}N_4O_4S_2$	15	11
İmidazoller	İmazalil	$C_{14}H_{14}Cl_2N_2O$	125	63
Morpholinler	Tridemorf	$C_{19}H_{39}NO$	10	8
Pyrimidinler	Azoxystrobin		12	3
	Fenamirrol	$C_{17}H_{12}Cl_2N_2O$	23	3
	Pyrazophos	$C_{14}H_{20}N_3O_5PS$	190	57
Triazololler	Fenbuconazole		20	1
	Flusilazole	$C_{16}H_{15}F_2N_2Si$	47	19
	Hexaconazole	$C_{14}H_{17}Cl_2N_3O$	365	18
	Myclobutanil	$C_{15}H_{17}ClN_4$	35	14
	Penconazole	$C_{13}H_{15}Cl_2N_3$	160	16
	Tebuconazole	$C_{16}H_{22}ClN_3O$	20	4
	Triadimefon	$C_{14}H_{16}ClN_3O_2$	230	58
	Triadimenol	$C_{14}H_{18}ClN_3O_2$	55	14

Tarsus Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü verilerine göre Türkiye’de Akdeniz ve Ege Bölgeleri’nde pestisit tüketimi toplam tüketiminin yaklaşık %34-42’si kadar olduğunun ve buna göre, Akdeniz ve Ege Bölgeleri’nde gelişmiş ülkeler düzeyinde pestisit tüketiminin olduğu ve bunun bir miktarının bilinçsiz ve kontrolsüz olduğu düşünülürse, bu yoğun kullanımın çevre, sağlık ve tarım ürünleri ihracatı açısından önemli sorunlara neden olabileceğinin altını çizmektedir. Tarımsal amaçlı pestisit kullanımını sağlayacağı kısa dönemli yararların yanı sıra uzun vadede sürdürülebilir kaynak kullanımı açısından değerlendirildiğinde hem tarım hem de çevre ve insan sağlığı açısından ciddi sıkıntıların ortaya çıkacağı bir gerçektir. Diğer taraftan Tarsus Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü yaptığı ön hazırlıklarda DİE’nin 2001 verilerine göre Türkiye’deki sera alanlarının %24,3’ü Mersin ilinde bulunduğunun belirtmektedir.

Göksu Deltası Özel Çevre Koruma Bölgesinde son yıllarda özellikle de seracılıkta kullanılan kimyasal girdilerdeki artış çevre kirliliğine yol açmaktadır. Türkiye’de bölgelere göre ilaç kullanımında %24,9’luk pay ile Akdeniz Bölgesi ilk sırayı almaktadır. Kullanılan kimyasalların kullanım bilinci ve bunun ürün üzerindeki etkileri ölçmek, hem üretici hem de tüketici sağlığı açısından çok önemlidir. Günümüzde özellikle tarımda ilaçlama yapan işçilerin sağlığında ilaçların neden oldukları zararlar ile ilgili araştırmalar yapıldığı görülmektedir. Bu nedenlerden dolayı, bölgemizde kullanılan kimyasalların kullanım bilinci ve bunun ürün üzerindeki etkilerini araştırmak önem arz etmektedir.

Türkiye ve Göksu Deltası’nda Çeşitlerine Göre Gübre Tüketimi Çizelge 2.11’de verilmiştir.

Çizelge 2.11. Türkiye ve Göksu Deltası'nda Çeşitlerine Göre Gübre Tüketimi [Karaca,2006].

	Gübre Çeşidi	Tüketilen Miktar(ton)	Tüketim Oranı(%)
TÜRKİYE	Kompoze	588507	26,66
	Azotlu	1053274	47,72
	Fosforlu	480461	21,77
	Potasyumlu	84957	3,85
	T O P L A M	2207209	100,00
	GÖKSU DELTASI	Kompoze	3372,21
Azotlu		924,24	20,91
Fosforlu		1,92	0,04
Potasyumlu		122,88	2,78
T O P L A M		4421,25	100,00

Bu rakamları incelediğimizde Göksu Deltası'nda tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübrelerin ülkemiz ortalamasından iki kat daha fazla olduğu ortaya çıkmaktadır. Bunun başlıca sebebi, 2 yılda beş ürün kaldırılan deltada, birim alandan en yüksek verimin alınabilmesi için yapılan uygulamalardır.

Çizelge 2.9, 2.10 ve 2.11 incelendiğinde Göksu deltasında NO_3^- , SO_4^{2-} ve PO_4^{3-} gibi kirlenici parametrelerin yanı sıra pestisit ve gübrelerin içerdiği ağır metaller yüzey ve yeraltı sularının kalitesinin bozulmasında önemli rol oynadıkları ortaya çıkmaktadır.

Yapılan araştırma sonucunda tarımsal amaçlı su kullanan insanlar arasında rasyonel su kullanımına yönelik bir bilincin olmadığı, yeraltı ve yüzey su kaynaklarının doğasına uygun olarak kullanılmadığı ve bu konuda da belirli bir planın uygulanmadığı anlaşılmaktadır. Bölgede tarımsal amaçlı kullanılan alanların yaklaşık 2.000 hektarında damla sulama yapılmaktadır. Fakat damla

sulama için kullanılan suyu temin ederken çiftçiler kendi imkanları dâhilinde en düşük maliyetli su kaynağını kullanmaktadır.

Yeraltı suyunda ağır metal kirliliğinin kaynağı , tarımsal ve endüstriyel aktiviteler, katı atık depolama alanları , madencilik çalışmaları olarak söylenebilir. Yeraltı suyu ve toprakta ağır metallerin taşınımının çeşitli sebep ve yolları vardır. Metal iyonları : M^{n+} , bitkiler tarafından alınabilir, mineraller üzerinde sorbsiyon olayları gerçekleşebilir, organik maddeler ile bağ yapabilirler. Oluşan kolloidler, yeraltı suyu ve toprak sisteminde oldukça fazla hareketlidirler, dolayısıyla da ağır metal taşınımını da artırır. Çözünmüş organik madde , ağır metal taşınımında önemli rol oynar [Bradl, 2005, Dube vd., 2001].

Yeraltı suyunu kirlüten organik ve inorganik kirlenicilerin, toprağa karışması ile birlikte yeraltı suyuna infiltre olmaktadır. Bu kirleniciler, farklı kaynaklardan toprağa karışıp , yeraltı suyuna ulaşmaktadırlar (Çizelge 2.12- 2.13).

Çizelge 2.12. Yeraltı suyunda başlıca organik-inorganik kirleniciler ve kaynakları [Bradl, 2005].

KAYNAK	İNORGANİK KİRLETİCİLER	ORGANİK KİRLETİCİLER
Tarımsal Alanlar	Ağır metaller, tuzlar (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-})	Pestisitler
Kentsel Alanlar	Ağır metaller(Pb,Cd,Zn),tuzlar	Petrol ürünleri, biyolojik olarak parçalanabilen organikler
Endüstriyel Alanlar	Ağır metaller, tuzlar	PAH,klorlu hidrokarbonlar, hidro karbonlar,petrol Ürünleri
Katı Atık Depolama alanları	Tuzlar (Cl^- , NH_4^+), ağır metaller	Ksinobiyotikler, biyolojik olarak parçalanabilen organikler

Çizelge 2.13. Toprakların kirlenmesine neden olan çeşitli kimyasal element kaynakları (mg/kg kuru toprak) [Mikayilov ve Acar , 1998].

Elementler	Organik Gübreler	Azotlu Gübreler	Fosforlu Gübreler	Pestisitler
Arsenik	3-2,5	2,2-120	2-1200	22-60
Brom	16-41	185-716	3,0-5,0	20-85
Kadmiyum	0,3-0,8	0,05-8,5	0,1-170	0
Sezyum	0	0	20	0
Kobalt	0,3 - 24	5,4-12	1-1,2	0
Krom	5,2-5,5	3,2-19	66-245	0
Bakır	2,0-60,0	1,0-15,0	1-300	12,0-50,0
Flor	7	0	8500-38000	18-45
Civa	0,09-0,2	0,3-2,9	0,01-1,2	0,8-42
Magnezyum	30-550	0	40-2000	0
Molibden	0,05-3	1,0-7,0	0,1-60	60
Nikel	7,8-30	7,0-34	7,0-38	0
Kurşun	6,6-15	2,0-27	7-225	60
Kalay	3,8	1,4-16	3,0-19	0
Stronsiyum	80	0	25-500	0
Tellur	0,2	0	20-23	0
Uranyum	0	0	30-300	0
Çinko	15-250	15,0-250	50-1450	1,3-25

Gün geçtikçe büyüyen dünya nüfusu ile ihtiyaç duyulan yiyecek gereksinimi karşılamak için yoğun olarak her bölgede tarımsal aktiviteler ile alan kullanımı artmaktadır. Tarımsal aktivitelerde, daha fazla ve daha sağlıklı ürün alabilmek için bilinçsiz olarak gübre ve pestisit kullanımı da beraberinde artmaktadır. Toprağa eklenen kimyasal gübreler , bitki besin maddelerinin ,bitkinin alabileceği forma dönüştürebilmek için toprağın pH değerini değiştirirler. Toprak , yüzey ve yeraltı suyu birbirleri ile etkileşim halinde olan sistemlerdir. Toprağa giren bir metal infiltrasyon ile yeraltı suyuna veya yüzey suyuna geçebilir. Bunun yanında sulama da ağır metallerin serbest hale geçmesini tetiklemektedir [Bradl, 2005].

Endüstride yoğun olarak ağır metallerin kullanılması nedeniyle, son yıllarda insanların ağır metallere maruz kalma oranı artmıştır. Ayrıca tarımda kullanılan gübreler ve ilaçlardan da önemli oranlarda topraklara toksik element bırakılmaktadır. Bu toksik elementlerden en önemlileri kadmiyum, kurşun, nikel,

arsenik ve bakırdır. Bu ağır metallerin toprağa ulaşması daha çok fosforlu gübreler ve bu gübrelerin hammaddelerinden kaynaklanmaktadır. Yapılan araştırmalarda fosforlu gübre üretmek için yurt dışından ithal edilen ham fosfat kayasının ağır metal içerikleri önemli oranda yüksek bulunmuştur. Diğer gübrelere kıyasla fosfat kayasının en yüksek Cd ve As konsantrasyonuna sahip olduğu saptanmıştır [Köleli ve Kantar 2005]. Akdeniz Bölgesi bilindiği üzere seracılığın en yoğun yapıldığı, gübre ve tarım ilaçlarının yüksek miktarlarda tüketildiği bir bölgedir. Tarım ilacı olarak yoğun olarak Cu içeren preparatlar kullanılmakta ve böylece toprakların Cu kapsamı artmaktadır.

Türkiye’de üretilen suni gübrelerin yaklaşık % 87’sinde Cd içeriği 8 mg kg⁻¹ gübre sınır değerine yakın ya da 2-5 kat üzerindedir. Toprakta bitkiye geçiş oranı çok yüksek olan ve toprakta oldukça hareketli olan kadmiyumun çok düşük konsantrasyonlarda bile özellikle çinko noksanlığında bitkiler tarafından kolaylıkla alınması ve bitkinin yenilen kısımlarında birikmesi bu metalin çevre sağlığı açısından büyük bir tehlike potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Çünkü Türkiye tarım topraklarının yaklaşık % 50’sinde çinko noksanlığı olduğu bilinmektedir [Köleli ve Kantar 2005].

Tarım topraklarında verimi artırmak amacıyla kullanılan fosforlu gübreler diamonyum fosfat(DAP), triple super fosfat (TSP) ve kompoze gübrelerdir. Gerek tarım topraklarındaki fosfor miktarının az olması (%0,04-0,30) gerekse suda çözünürlüğünün düşük olması nedeniyle, toprağa uygulanan fosforlu gübrelerin ancak %5-25’inden bitkiler yararlanabilmektedir. Bu nedenle her yıl toprağa aşırı ve bilinçsiz bir şekilde fosforlu gübre uygulanmaktadır. Toprağa uygulanan fosforlu gübrelerin alınabilirliği üzerine toprağın pH değeri, toprağın CaCO₃ miktarı, toprağın değişebilir Ca²⁺ miktarı, toprakta kilin cinsi ve miktarı, toprağın organik madde düzeyi, uygulanan fosforlu gübrelerin cins, uygulama şekli ve toprak sıcaklığı gibi etmenler etki etmektedir. Bu etmenlerin toprağa uygulanan fosforlu gübrelerle etkileşimleri sonucu fosforun elverişliliği azalır ve fosfor toprak solüsyonunda hareketliliğini kaybederek daha az yararlı (fiske) hale

gelir. Bu nedenle NO_3^- iyonunda olduğu gibi fosfor iyonu negatif yüklü olmasına rağmen topraktan fosfor yıkanması olmaz [Köleli ve Kantar 2005].

İlçe Tarım Müdürlüğü teknik elemanları, çiftçiler ve zirai ilaç bayileri ile yapılan görüşmelerde; Deltada araştırmalar sonucunda ürün desenine göre (narenciye, çilek, sera, buğday, çeltik, mısır, yer fıstığı ve susam) tarımda kullanılan pestisit ve gübre kullanımına bağlı aşağıdaki çizelgeler oluşturulmuştur (Çizelge 2.14, 2.15, 2.16., 2.17, 2.18, 2.19 ve 2.20).



Çizelge 2.14. Göksu Deltasındaki narenciye üretiminde kullanılan gübre ve pestisitler.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
NH₄-SO₄ NH₄-NO₃						200 gr/ağaç, 50 kg/ 4000 m ² (15-20 gün ara ile 3 kez verilir)						
KNO₃ (Meyvenin İrileşmesi İçin)											*6 kg/ dönüm (20 gün ara ile 2 kez verilir)	
FeSO₄							6 kg/ dönüm				Ya temmuz Ya kasım Bir kez uygulanır.	
(Daldan) İz element Fetrilon combi-2 (Mn-Fe-S-Zn-Cu-Mo-B)					1 kg/1 ton sulama suyu							
<i>Etken madde: Abamectin</i> 18g/L-TORPEDO EC (kırmızı örümcek için)					500 mL/1 ton sulama suyu							
Etken madde:acetonitrit-HEKPLON 20 SP (insektisit)					800 gr/ 1 ton sulama suyu							
Etken madde: pyriproxfen-100gr/L-ADMİRAL 10EC							500 gr/1 ton sulama suyu					

Çizelge 2.15. Göksu Deltasındaki çilek üretiminde kullanılan gübre ve pestisitler (ilk dikim Ağustos ayında yapılmaktadır).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Ha z.	Tem.	Ağus.	Eylül	Eki m	Kasım	Aralık
NH ₄ -SO ₄ NH ₄ -NO ₃	2 kg /dönüm (4 kez uygulanır)							2 kg /dönüm (4 kez uygulanır)				
Fosforlu gübre								Damlama sulama ile her hafta gübreleme devam eder. 30 dk sulanır- 15 dk gübrenir-15 dk tekrar sulanır. Fosforlu gübre 3 kg/dön.				
Fosforik asit	1,5 L/ dönüm										1,5 L/ dönüm	
Humik asit (leonardit)	1 L/dönüm										1 L/dönüm	
Mg-SO ₄	2 kg /dönüm										2 kg /dönüm	
N-P-K dengeli gübre(3:20)											2 kg /dönüm	
Demir gübresi – Ferrostrene-%4.8 ortho-ortho içerir.			300 gr/dön.									
Organik gübre- Stolex			1 ton/dön.									
TORPEDO- kırmızı örümcek için (insaktisit) + Yaprak sararması için DOMARK (fungusit)			10 günde 1 verilir. 500 gr/ton sulama suyu/10 dönüm									
KODEFOL 680 (fosfor içerir)			2kg/1 ton sulama suyu/10 dönüm									

Çizelge 2.16. Göksu Deltasındaki seradaki domates ve salatalık üretiminde kullanılan gübre ve pestisitler (Ağustos ayında dikim yapılmaktadır)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağus.	Eyl.	Ekim	Kasım	Aralık
Potasyumlu gübre		50 kg/dönüm. Her ay 4 kez olmak üzere uygulanır.								50 kg/dönüm. Her ay 4 kez olmak üzere uygulanır.		
Üre (%46 N içerir)				50-75 kg/dönüm								

Çizelge 2.17. Göksu Deltasındaki Buğday Üretiminde kullanılan gübre ve pestisitler

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağus.	Eyl.	Ekim	Kasım	Aralık
Dikim öncesi taban gübreleme N-P-K gübre											20-25 kg/dönüm (1 kez)	
Üst gübre üre	10 kg/dönüm (1 kez)											
Yabancı ot ilaçlama (2-4 amin etken madde)	1kg/4 dönüm											

Çizelge 2.18. Göksu Deltasındaki Çeltik Üretiminde kullanılan gübreler.(Temmuz ayında ekimi yapılır.).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağus.	Eyl.	Ekim	Kasım	Aralık
Dikim öncesi taban gübreleme N-P-K gübre							15-20 kg/dönüm					
Üre veya NH ₄ -SO ₄ (başaklanma öncesi verilir)									15-20kg/dönüm			

Çizelge 2.19. Göksu Deltasındaki Yerfıstığı ve Susam Üretiminde kullanılan gübre ve pestisitler (Ara ürün olarak ekilir).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağus.	Eyl.	Ekim	Kasım	Aralık
Taban gübresi olarak N-P-K						15 kg/dönüm						
Yeşil kurt için klor profosel etil (nematosit)							1 kez uygulanır.					

Çizelge 2.20. Göksu Deltasındaki Mısır Üretiminde kullanılan gübre ve pestisitler.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağus.	Eyl.	Ekim	Kasım	Aralık
Taban gübresi N-P-K					30-40 kg/dönüm							
Üre (üst gübre)							10-15 kg/dönüm					

2.8. GÖKSU DELTA'SINDA YAPILAN ARAŞTIRMALAR

Göksu deltasında yoğun tarımsal faaliyetler sonucunda, yıllık gübre kullanımını ülke ortalamasının oldukça üstündedir [Karaca,2006]. Göksu deltasını oluşturan alluvial depolanmalar yüzeyden yaklaşık 500-700 m derinliğe kadar ulaşmakta ve global olarak serbest bir akiferi oluşturmaktadır [Motz vd. 2006, DSİ 1997]. Deltanın belli bir kısmında yüzeyde yer alan 20-30 m kalınlığındaki kil, altında yer alan permeabilitesi göreceli olarak yüksek iri taneli sedimanların oluşturduğu akiferi basınçlı bir akifer yapar. Deltada açılan kuyu sayısı 1000'in üzerindedir. Ancak açılan kuyuların hiçbiri alüvyon akiferi tamamen kat edememiştir.

Avcı , Göksu deltası toprak, bitki ve çökellerinde methamidophos kalıntısının araştırılması isimli yüksek lisans tezinde, Göksu deltası tarımsal alanlarından alınan 14 toprak örneği ve bu topraklar üzerinde yetişen 25 bitki örneğinde, 6 yüzeysel sediment örneğinde methamidophos kalıntısı araştırmıştır. Araştırmalar sonunda toprak ve bitki örneklerinde methamidophos kalıntı derişimi sırayla 4,7 - 46,7 µg/kg, 6,7 – 18,4 µg/kg, çökel örneklerinde ise; 4,3 – 40,3 µg/kg aralığında saptamıştır. Bu araştırmada, deltadaki toprak örneklerinde methamidophos kalıntısının bulunduğu ve bu pestisitinin kullanımının tamamen yasaklanması gerektiğini ortaya koymuştur [Avcı, 2004].

Tarım topraklarında yapılan başka bir çalışmada ise, mevsime bağlı olarak toprak örneklerinde azot /karbon değerleri araştırılmıştır ve sonuç olarak kış aylarında azot mineralizasyonunun düştüğü, yaz aylarında ise buharlaşmanın fazla olmasından dolayı tuzluluk miktarının arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca toprak analizleri sonucunda, yazdan kışa doğru yıkanmaya bağlı olarak azot içeriğinin düştüğünü, her örnek için aynı genelleme yapılsa da sonbaharda karbon içeriği artışı olduğu tespit edilmiştir [Everest,1994].

Özer ve arkadaşları yayınladıkları bir çalışmada , Göksu Deltası tarım topraklarında gübre ve pestisit kullanımı ile meydana gelen kirlilik boyutunu belirlemek amacıyla ön çalışmalar yapmışlardır. Deltanın farklı üç noktasından (20 cm, 50 cm ve 1 m olmak üzere üç farklı katmanından) toprak örnekleri almışlar, örneklerde Nitrat, Nitrit, Amonyak, Fosfat, Demir ve Bakır analizleri yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, gübre kullanımına bağlı olarak, yüzeyden alınan toprak örneklerinde Amonyak ve Fosfat, 50 cm den alınan toprak örneklerinde Nitrit, 1 metre den alınan toprak örneklerinde Nitrat miktarının diğer katmanlara göre daha fazla olduğu, kullanılan pestisit miktarına bağlı olarak da Bakır ve Demir iyonlarının miktarları her katmanda değiştiğini tespit etmişlerdir [Özer vd., 2009].

Delta tarım alanlarında yapılan bir başka araştırmada 9.408.918 kg/yıl pestisit kullanıldığı ve pestisitlerin önemli bir miktarını organo-fosforlu bileşiklerin oluşturduğunu belirlenmiştir [Çetinkaya, 1996].

Alanda kullanılan pestisitlerin yeraltı suyuna ulaşp ulaşmadığı araştırılmış ve bölgede en çok kullanılan ve organik klorlu pestisit grubunda yer alan α – endosülfan kalıntı derişimi 0,0172 – 0,0217 mg/L, β – endosülfan kalıntı derişimi 0,0003 – 0,0053 mg/L, endosülfan sülfat kalıntı derişimi ise 0,0016 – 0,2724 mg/L arasında olduğunu ortaya konulmuştur [Yalvaç vd.,2004]. Benzer bir çalışma sonucunda da tarımsal üretimin yapıldığı arazilerin yakınlarındaki kuyulardan ve derelerden alınan su örneklerinde özellikle pestisit kirliliğinin yüksek düzeyde olduğunu tespit edilmiştir [Schott ve Wassen,1991].

Ayaş ve Kolonkaya, (1996) Göksu Deltası'ndaki değişik çevrelerde ve organizmalarda Hg^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{6+} birikimi araştırmış ve Göksu Deltası'ndaki su, sediment ve toprak örneklerinde yüksek düzeyde Hg^{2+} ve Pb^{2+} tespit etmişlerdir Cd^{2+} ve Cr^{6+} birikimi saptanmamıştır [Ayaş ve Kolonkaya, 1996].

Deltadaki su kalitesi üzerine birçok çalışma yapılmış, fosseptiklerden gelen evsel atıksular ile tarımsal faaliyetlerden kaynaklı gübrelerin, Paradeniz ve Akgöl'ü olumsuz etkilediği ortaya konulmuştur [Başibüyük 1993, Menengiç 1998].

Özer yüksek lisans çalışmasında da deltada yüzey ve yeraltı suyundan (deniz, Akgöl, Paradeniz, Göksu Nehri) örnekler alıp analizler yapmış ve bir CBS oluşturmuştur. Çalışma sonucunda oluşturulan yüzey ve yeraltı suyu kalitesi tematik haritaları ile veriler karşılaştırarak, tarımsal arazi kullanımı esnasında uygulanan gübrelerin su kalitesini etkilediği ortaya konulmuştur [Özer, 2008].

Göksu Deltası Özel Çevre Koruma Kurumu (1993) bölgede akarsu, göl ve drenaj kanallarının su kalitesini belirlemeye çalışmışlardır. Çalışma sonunda pH 7,06 – 9,01, ÇO 5,59- 9,44 mg/L, KOİ 1.70- 42.6 mg/L, AKM 17,25- 35,50 mg/L, toplam azot 0,14- 3,42 mg/L, toplam fosfor 0,015–0,289 mg/L, toplam koliform değeri 800-2000 arasında değiştiği tespit edilmiştir [ÖÇKKB,1993].

Kumbur ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada ise akarsu, göl ve drenaj kanallarının su kalitesini belirlemeye çalışmışlardır. Çalışma sonunda; sıcaklık 9,7–32,3 °C, pH 7,18 – 8,21, ÇO 2,38–7,82 mg/L, tuzluluk ‰ 0,0- 14,0, iletkenlik 338- 23300 µS/cm, KOİ 10–300 mg/L, AKM 4–763 mg/L, Nitrit azotu 0,0–16,0 mg/L, nitrat azotu 0,4–4,3 mg/L, fosforun 0,02–0,52 mg/L arasında değiştiğini tespit etmişlerdir [Kumbur vd. 2004].

Göksu Deltasında tuzlu su girişi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Silifke-Hacıışaklı köyünün güney kıyılarındaki kaynaklardan denize boşalan yeraltı suyunun ekonomik amaçlarla kullanılmasını sağlamak amacıyla jeofizik etütleri yapılmıştır [Yeniçilek, 1979].

Aldonat, havzanın yağış hesaplarını yapmış ve hidrolik parametreleri ortaya koymuştur [Aldonat, 1995]. Silifke-Ovacık ovasında, düşey elektrik sondaj yöntemi ile yeraltı suyu seviyesi, inceleme alanının denize yakın olması ve ovadaki pompaj da dikkate alınarak deniz suyu girişim sınırı olası haritalarının hazırlandığını ve inceleme alanında tuzlu su girişiminin olmadığını rapor etmiştir [Karakılıçık, 1996].

DSİ Genel Müdürlüğü tarafından 1997 yılında yapılan Göksü Deltası hidrojeolojik etüt çalışmaları ara raporunda bölgenin hidrojeolojisini ortaya konulmuştur. Silifke-Göksü deltası tatlı su-tuzlu su girişimi jeofizik etüt raporu isimli çalışmalarında düşey elektrik öz direnç sondaj yöntemi uygulayarak belirli derinliklerde çok tuzlu, geçiş zonu, killi kum ve çakıllı kum seviyelerini ayırmışlar ve bölgenin jeofizik eş rezistivite kesitleri ve jeofizik yeraltı yapı kesitlerini vermişlerdir [Gül ve Mülâyim, 1997].

2008-2009 yılları arasında yapılan bir çalışmada; deltadaki yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarının kalitesini hidrokimyasal, hidrojeoloji ve jeofizik ölçümler ile incelenmiştir. Çalışma sonucunda, Göksü Deltası'nda doğal deniz suyu girişim sınırı belirlenmiş, Göksü Nehri Havzası ve Göksü Deltası'nda canlı varlığının sağlıklı biçimde yaşamını sürdürebilmesi için deltanın anlık olarak izlenmesi ve bölgede ilave alt projeler yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır [Elik vd., 2009].

1999 – 2002 yılları arasında Göksü Deltası'nda yeraltı sularının su kalitesi ile ilgili verileri toplanarak General Algebraic Modelling System (GAMS) programı ile deniz suyu girişimini modellenmiştir [Motz vd., 2006].

2009 yılında yapılan bir doktora çalışmasında da, Göksü deltasında deniz suyu girişiminin kontrolüne yönelik model geliştirilmiş ve deniz suyu girişim mekanizmasını tanımlayabilmek için SEAWAT programı kullanılarak üç boyutlu değişken yoğunluklu yeraltı suyu akımının simülasyonunu yapılmıştır. Çalışmanın

devamında iklim değişikliğinin etkilerinin önlenmesi ya da en aza indirilmesi bakımından gelecekteki olması muhtemel üç senaryo için simülasyonlar yapmış ve Göksu deltası akiferinin özellikle pompaj miktarındaki artışa duyarlı olduğu belirtilmiştir [Çobaner, 2009].

Deniz kirliliği üzerine yapılan çalışmalarda; kirlilik boyutlarının Akdeniz kıyı sularını rahatsız edecek boyutlara ulaştığını belirtilmiş [Yılmaz vd., 1993] ve deniz seviyesinin sera etkisi nedeni ile 1930'lerden beri ortalama yılda 0,6 mm yükseldiğini, önümüzdeki yüzyıl sonunda en az 60 cm daha yükseleceğini ve Göksu gibi delta kıyılarında denizin kilometrelerce kara içerisine girerek tüm yapıları kullanılmaz hale getireceği tespit edilmiştir [Ozener, 1993].

Göksu deltasının oluşumu için birçok çalışma mevcuttur. Keçer (2001) Göksu Deltası'nın, jeomorfolojik evrimi ve güncel akarsu-deniz-rüzgâr süreçlerini kıyı çizgisinde yaptığı değişiklikleri incelemiş ve deltanın oluşum modelini ortaya koymuştur [Keçer, 2001]. Bunun ötesinde Keçer ve diğ. (2007) farklı tarihlerde ve ölçeklerde üretilen topografik haritalardan Göksu deltası kıyılarındaki değişim alanlarını ve miktarlarını belirleyip bu değişimlerin nedenlerini belirlemek için delta güncel ortamında mevcut olan güncel dinamik süreçleri araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar ile Göksu kıyısındaki gerileme ve ilerlemenin nedenlerini ortaya koymuşlardır [Keçer vd, 2007].

Uygun ve ark. (1994) Göksu Deltası'ndan gerekli örneklemeler yapılarak, deltanın flora ve faunasının saptanması ekolojik, peyzaj ve optimal arazi kullanımının planlanması çalışmaları yürütülmüştür. Spot uydusu verilerinden yararlanılarak, Göksu Deltası temel toprak haritası üzerinde ayırt edilmiş 22 farklı arazi kullanım türlerinde yapılan değerlendirmeler ile tarımsal kullanıma uygun olan arazilerin daha çok deltanın orta ve kuzey bölümlerinde yer aldığını belirlemişlerdir. Deltada mevcut olan kullanım çalışmaları ile potansiyel arazi kullanımı ve biyolojik çeşitliliğin ortaya çıkması konusunda yapılan çalışma sonunda hassas zon belirlenmiştir [Uygun vd., 1994].

Schoot ve ark. [13] tarafından yapılan çalışmada, Göksu deltası'nın hidrolojik yapısını belirlemek amacıyla farklı zamanlarda su içinde çeşitli parametreler analiz etmişlerdir. Çalışma sonucunda bulunan veriler tarımsal üretimin yapıldığı arazilerin yakınlarındaki kuyulardan ve derelerden alınan su örneklerinde özellikle pestisit kirliliğinin yüksek düzeyde olduğunu ortaya koymuştur.

Özer ve arkadaşları yayınladıkları bir çalışmada , Göksu Deltası tarım topraklarında gübre ve pestisit kullanımı ile meydana gelen kirlilik boyutunu belirlemek amacıyla ön çalışmalar yapmışlardır. Deltanın farklı üç noktasından (20 cm, 50 cm ve 1 m olmak üzere üç farklı katmanından) toprak örnekleri almışlar, örneklerde Nitrat, Nitrit, Amonyak, Fosfat, Demir ve Bakır analizleri yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, gübre kullanımına bağlı olarak, yüzeyden alınan toprak örneklerinde Amonyak ve Fosfat, 50 cm den alınan toprak örneklerinde Nitrit, 1 metre den alınan toprak örneklerinde Nitrat miktarının diğer katmanlara göre daha fazla olduğu, kullanılan pestisit miktarına bağlı olarak da Bakır ve Demir iyonlarının miktarları her katmanda değiştiğini tespit etmişlerdir [Özer vd.,2009].

Demirel, Göksu Deltasında Su Kalitesinin Fotometrik Ölçümlerle Araştırılması - CBS Oluşturulması ve Modelleme isimli TÜBİTAK destekli projesinde, Göksu Nehri ve kollarında su kalitesini WQM-Cal modeli kullanarak modellemiş, AquaChem ile yeraltı suyunun kimyasal karakteristiklerini belirlemiş, sulama suyu olarak kullanılabilirlikleri için suların uygun olup olmadıkları araştırmıştır. Yeraltı suyu kalitesinin yeryüzündeki aktivitelerden etkilendiğini ortaya koymuştur [Demirel, 2008].

Demirel ve arkadaşları, delta yeraltı sularında 2008-2009 yılları arasında yaptıkları çalışmada, yeraltı sularında, tarımsal faaliyetler de kullanılan kimyasallardan kaynaklı ağır metal kirliliği tespit etmişlerdir [Demirel vd., 2011].

Seçkin ve arkadaşları [20], Göksu Delta'sı yeraltı sularında yaptıkları çalışmada ; Delta yeraltı sularında 2007 ve 2008 yılları arasında , kuyulardan örnekler alıp , temel anyon ve katyonları analiz etmişlerdir. Çalışma sonuçları delta yeraltı sularının tarımsal aktiviteler ve deniz suyundan etkilendiğini göstermiştir [Seçkin vd., 2010],.

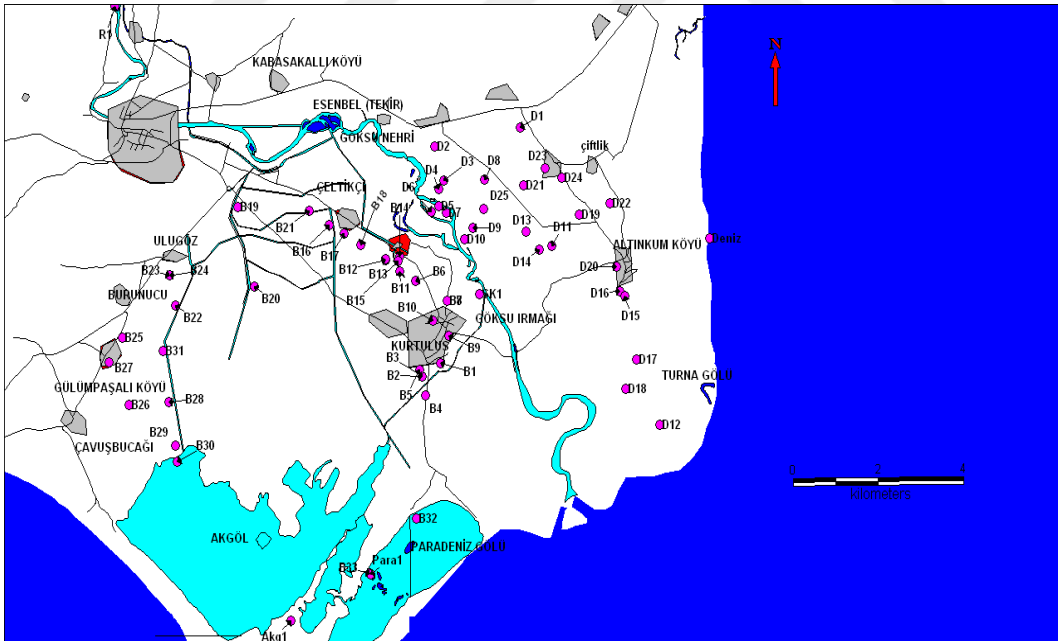
Özpınar, "Göksu Delta'sı su kalitesinin fotometrik yöntemlerle belirlenmesi" konulu tezinde delta'da açılmış olan kuyulardan aldığı örneklerde ağır metal ve besin elementlerinin analizlerini yapmıştır. Elde ettiği besin elementi (azotlu bileşikler ve fosfat iyonu) sonuçlarına göre yeraltı sularının tarımsal arazi kullanımı ve yerleşim yerlerinden etkilendiğini ortaya koymuştur [Özpınar, 2007]

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Deltada tarımsal aktivite ve yerleşim yerlerinden kaynaklanan yeraltı suyu kirliliğini ortaya koymak için;

1. Dönem -Şubat 2011,
2. Dönem- Kasım 2011,
3. Dönem -Eylül 2012 aylarında olmak üzere

Kuyu sularından *Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metotları*'na uygun olarak, 3 dönemde de yüzey suyundan 5 adet ve yeraltı suyundan 58 adet toplam 63 adet numune noktasından 0.5 L'lik pet şişelerle toplam 2'şer adet numune alınmıştır (Şekil 3.1). Numunelerden biri asitlendirilerek ağır metal analizlerinde kullanılmıştır. Diğer numunelerde kimyasal analizler yapılmıştır.



Şekil 3.1. Göksu Deltası yüzey-yeraltı suyu numune noktaları.

Deltayı ikiye ayıran Göksu Nehri'nin, batısında kalan yeraltı suyu numune noktaları; B kodu, doğusunda kalan kuyulara D kodu ile adlandırılmıştır (Şekil 3.1). Nehrin Batı kısmından 33 adet (Gülümpeşalı, Ulugöz, Burunucu, Atik Mah., Çeltikçi, Bahçeköy, Sökün, Kurtuluş, Hurma), Doğu kısmından 25 adet(Arkum,Altinkum, Turna Gölü Cıvarı) kuyudan numune alınmıştır.

Yüzey suyu numune noktaları ise aşağıdaki gibi adlandırılmıştır;

- Akgöl (Akg-1),
- Paradeniz (Para1),
- Sökün Köprüsü (SK1),
- Regülatör (R1),
- Deniz

Göksu deltası su kalitesinin mevcut durumunun tespiti amacı ile öncelikle çalışma alanının daha önceden sayısallaştırılmış olan jeoloji haritası CBS ye altlık olarak kullanılmış ve elde edilen analiz sonuçları MapInfo 9.5 yazılımı ile CBS ye aktarılarak bir veri tabanı oluşturulmuştur. Oluşturulan veri tabanı; numune alım noktalarının koordinatlarını, yeraltı ve yüzey suyu analiz sonuçlarını içermektedir. Verilerin mekansal dağılımını incelemek ve veri olmayan noktalarda kirletici konsantrasyonunu tahmin edebilmek için MapInfo 9.5 Vertical Mapper (Mekansal analiz ve 3-B görüntüleme yazılımı) programında çalışılmıştır. Programın sağladığı enterpolasyon türlerinin içinde çalışma alanı veri noktası dağılımı göz önüne alınarak Kriging enterpolasyon metodu seçilmiş ve tematik haritalar her dönem için oluşturulmuştur.

Kriging enterpolasyon metodu: bilinmeyen alanlarda değerleri kestirirken bilinen veri noktaları arasında hem derece değişimi hem de uzaklığı hesaba katan jeostatistiksel bir enterpolasyon tekniğidir. CBS teknolojileri, sayısal akıllı haritalar yardımıyla sorgulama amaçlı veritabanlarını ve istatistiksel analizi kullanarak, bilginin sınıflandırılmasını, karşılaştırılmasını, modellendirilmesini,

mühendislik uygulamalarının ve stratejik planlamanın yönlendirilmesini sağlamaktadır.

2.1. Yerde Yapılan Ölçümler

Numune alınan noktalarda: elektriksel iletkenlik (EC), pH, tuzluluk(sal) ve sıcaklık (T) ölçümleri WTW 340i marka Multiparametre cihazı ile yapılmıştır (Şekil 3.2). Yüze ve yeraltı suyu numunelerin alındığı noktaların koordinatları (x, y, z) Global Positioning System (GPS) Magellan Explorist ile yerinde ölçülmüştür.



Şekil 3.2. Arazide kullanılan Multiparametre cihazı.

2.2. Laboratuvar Analizleri

2.2.1 Su kirleticili yükleri analizleri

Çalışma alanından alınan tüm yeraltı ve yüze suyu örneklerinde ve alanda en çok kullanılan gübre olan amonyum nitrat gübresinde; nitrit, nitrat, amonyum, fosfat iyonu analizleri Çevre Mühendisliği laboratuvarlarında *Hana marka Multifotometre* ile; Demir (Fe), Bakır (Cu), Krom (Cr), Mangan (Mn), Nikel (Ni), Çinko (Zn), Kadmiyum (Cd) ve Kurşun (Pb) analizleri, ME. Ü. Merkezi

Laboratuvarında bulunan *Agilent marka 7500ce model İndüktif olarak Eşleştirilmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS)* ile yapılmıştır.

2.2.2 Majör iyon analizleri

Belirlenen 13 adet yeraltı ve 5 adet yüzey suyu olmak üzere toplam 18 adet numune de; Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- analizleri ME. Ü Merkezi Laboratuvarında bulunan *DIONEX marka ICS 3000 DUAL model İyon Kromatografisi (IC)* ile; CO_3^{2-} , HCO_3^- analizleri ise ME. Ü Çevre Mühendisliği Laboratuvarlarında standart metotlarda belirtilen titrasyon yöntemi ile yapılmıştır.

2.2.3 İzotop analizleri

Çalışma alanında azot kirliliği kaynağının belirlenebilmesi için ^{15}N , 2H (döteryum) ve ^{18}O kararlı (duraylı) izotop analizleri, toplamda 2 dönem,

- Sökün köprüsü, Regülatör ve Deniz olmak üzere **3** adet yüzey suyu,
- **4** adet yeraltı suyu (Bahçeköy, Sökün köyü, Kurtuluş köyü, Altinkum mahallesi -Arkum), olmak üzere toplam **7** adet izotop örneği analiz edilmesi için İngiltere’de özel bir laboratuvar olan *Iso-Analytical Ltd* kararlı izotop analiz laboratuvarına Şubat ve Eylül örnekleme zamanlarında olmak üzere iki kez gönderilmiştir. (Tüm sıvı örnekler 0.45 µm membran filtreden geçirilerek hazırlanmıştır, 100 mL’lik polietilen şişelere doldurularak paketlenmiştir.).
- Yüzey ve yeraltı suyu dışında sadece bir kereye mahsus, alanda en çok kullanılan amonyum-nitratlı gübre ve alandan fosseptikten alınan atıksuya da aynı analizler yaptırılmıştır.

4.BULGULAR VE TARTIŞMA




4.1. VISUAL HELP MODELİ SONUÇLARI

Göksu deltasında hidrolojik parametreler ve yeraltı suyu beslenmesi için Visual HELP modeli kullanılmıştır (Visual HELP, 2006).

Akiferin beslenmesi yağışlardan ve nehir suyunun akifere sızmasından olmaktadır. Akiferlerin boşalmaları ise pompaj kuyularıyla ve göllere olan boşalımla ortaya çıkmaktadır. Akiferin beslenmesi hidrolojik döngü içinde yağış, evapotranspirasyon ve akış ile doğrudan ilgilidir. Akiferin beslenme miktarının hesaplanabilmesi için Silifke Meteoroloji Müdürlüğünden alınan bölgenin uzun yıllar (1931-2003) iklim istatistikleri [Çobaner, 2009] kullanılmıştır (Çizelge 3.4).

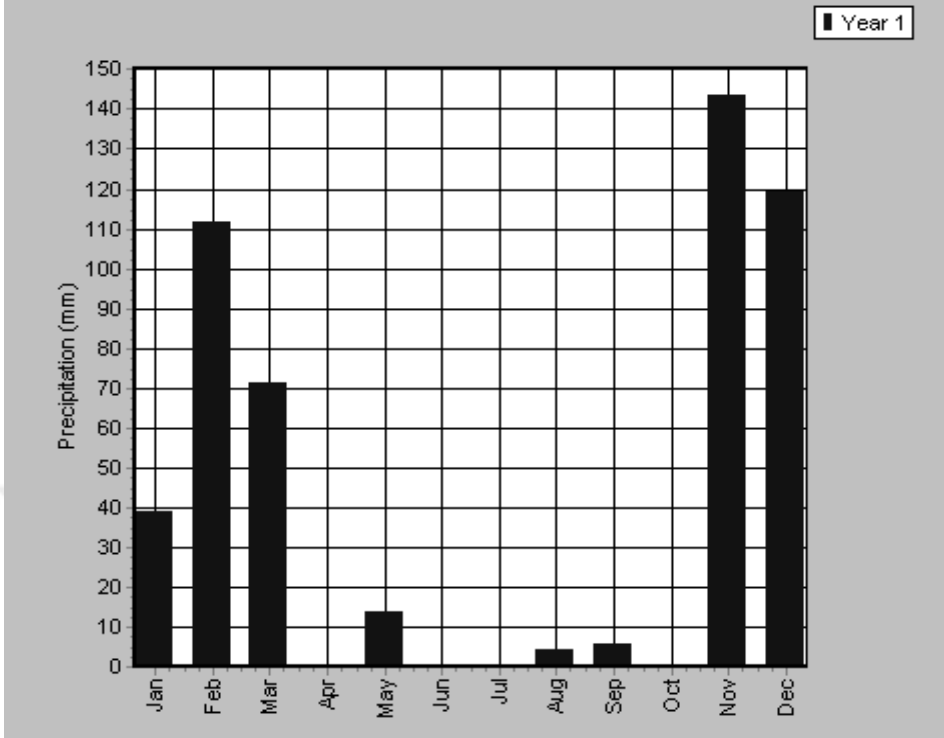
HELP modelinde sahada bitki örtüsünün iyi geliştiği kabul edilmiş ve alanda daha önceden yapılan toprak bünyesi (tekstürü) çalışmaları incelenerek Çizelge 4.1' de verilen bir profil oluşturulmuştur.

Çizelge 4.1. Göksu deltasında zemin profili (HELP Modeli için oluşturulmuş)

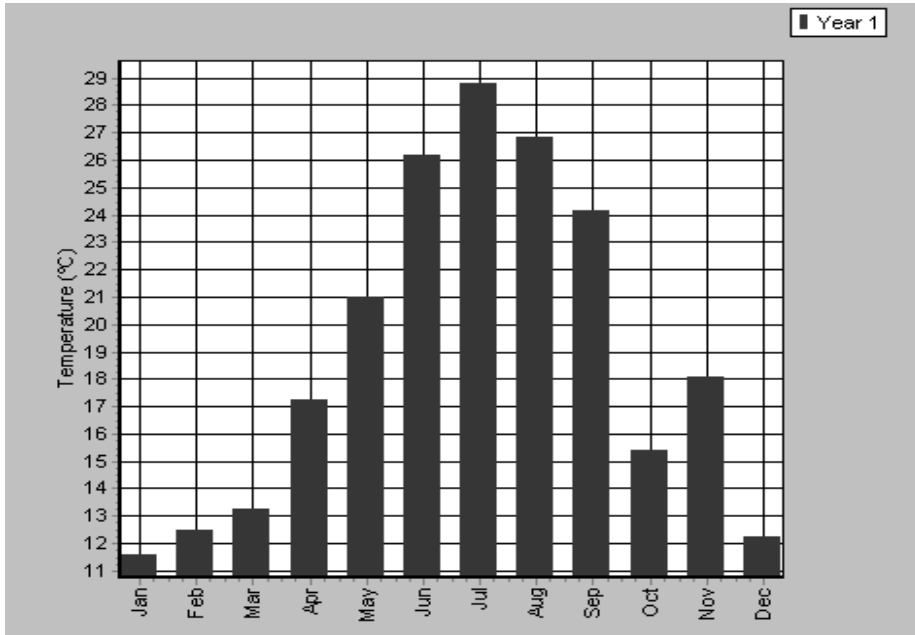
Tabaka	Tavan (m)	Taban (m)	Kalınlık (m)
 İnce kumlu toprak	0.0000	-0.3	0.3
 Kaba kumlu tınlı	-0.3	-0.8	0.5
 Kil	-0.8	-1.0	0.2

HELP Modeli öncelikle iklim ölçümlerini kullanarak alana ait sıcaklık, yağış ve radyasyonu modellemektedir. Göksu deltası için modellenen yağış,

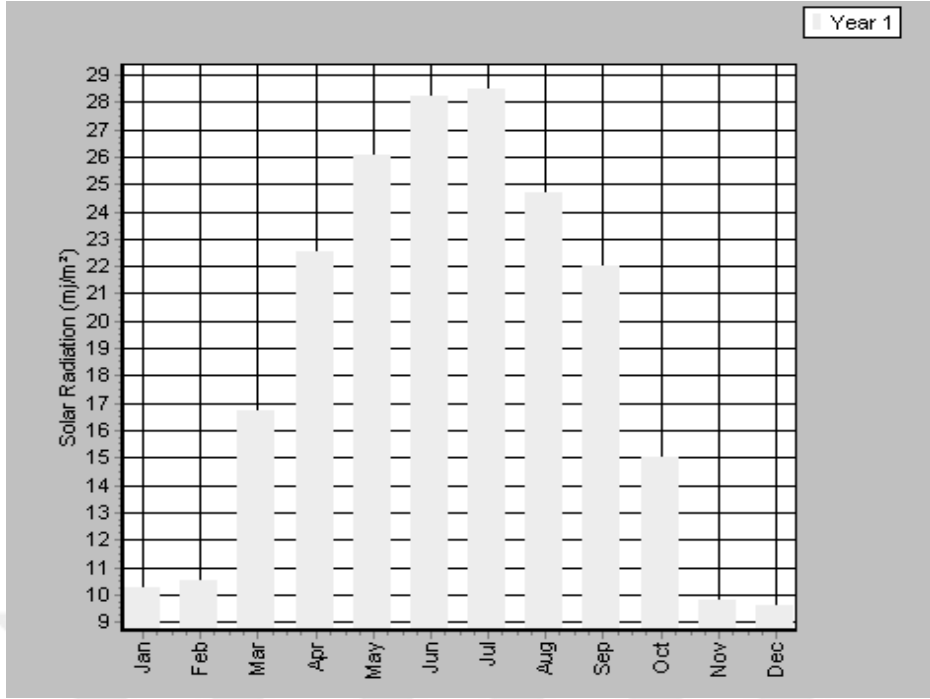
sıcaklık ve güneş radyasyon değerleri sırasıyla Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3' de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Göksu deltası için modellenen yağış yükseklikleri

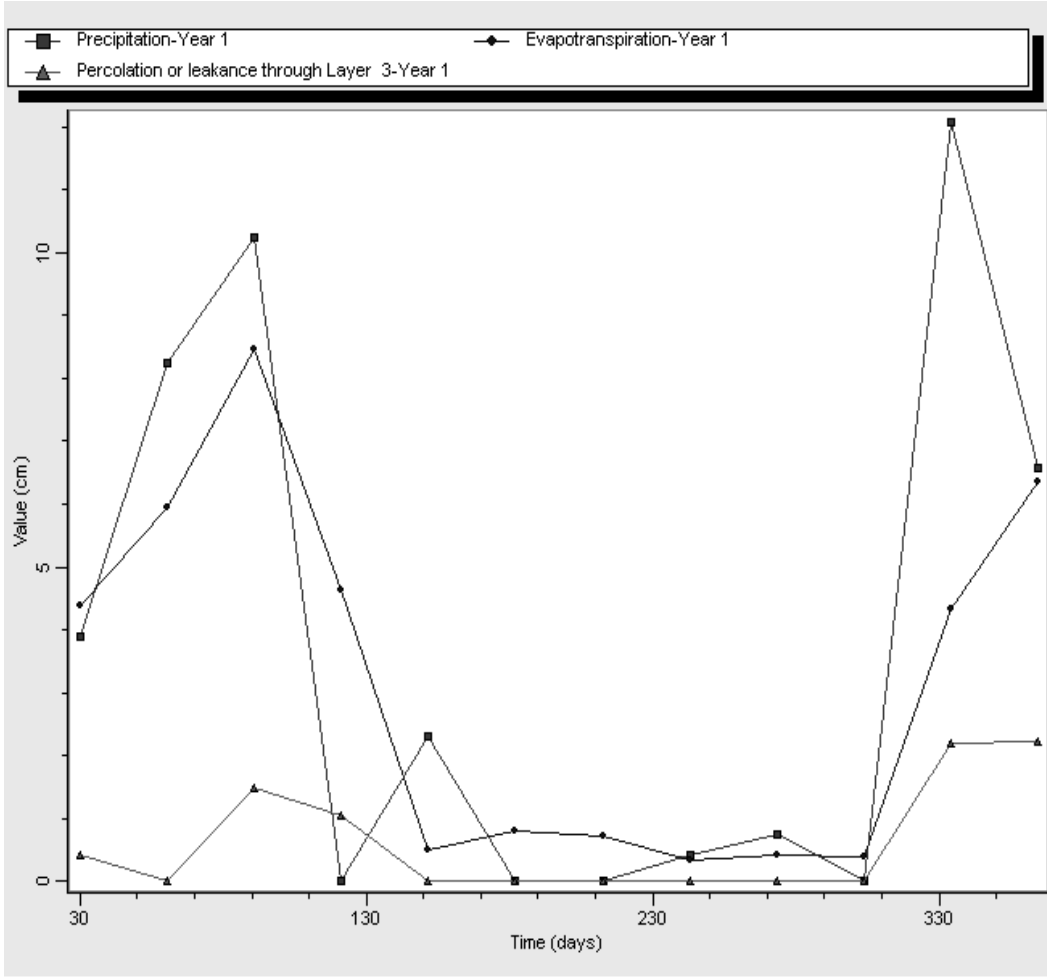


Şekil 4.2. Göksu Deltası için modellenen hava sıcaklığı değerleri.



Şekil 4.3. Göksu deltası için modelle bulunan güneş radyasyon değerleri.

Visual HELP ile modellenen bu meteoroloji verileri kullanılarak yapılan bilanço modelinde elde edilen sonuçlar Şekil 4.4 de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Visual HELP ile yeraltı suyu beslenme miktarının model sonucu.

HELP ile yapılan modelleme sonucunda Silifke Meteoroloji Müdürlüğüne ait bölgenin uzun yıllar iklim istatistiklerine göre yıllık ortalama; 12,08 mm yüzey akış, 372,15 mm evapotranspirasyon ve 72,72 mm yeraltı suyu beslenmesi hesaplanmıştır.

4.2.YERALTI VE YÜZEY SUYU ANALİZLERİ

4.2.1.Yeraltı ve Yüzey Suyu Hidrojeokimyası

AquaChem programı ile suyun fasiyesinin (tipinin) bulunması:

AquaChem, su kalitesi verilerinin modellenmesi ile grafiksel ve sayısal analizler için geliştirilmiş bir yazılım paketidir. Bu çalışmada AquaChem 5.1 kullanılmıştır.

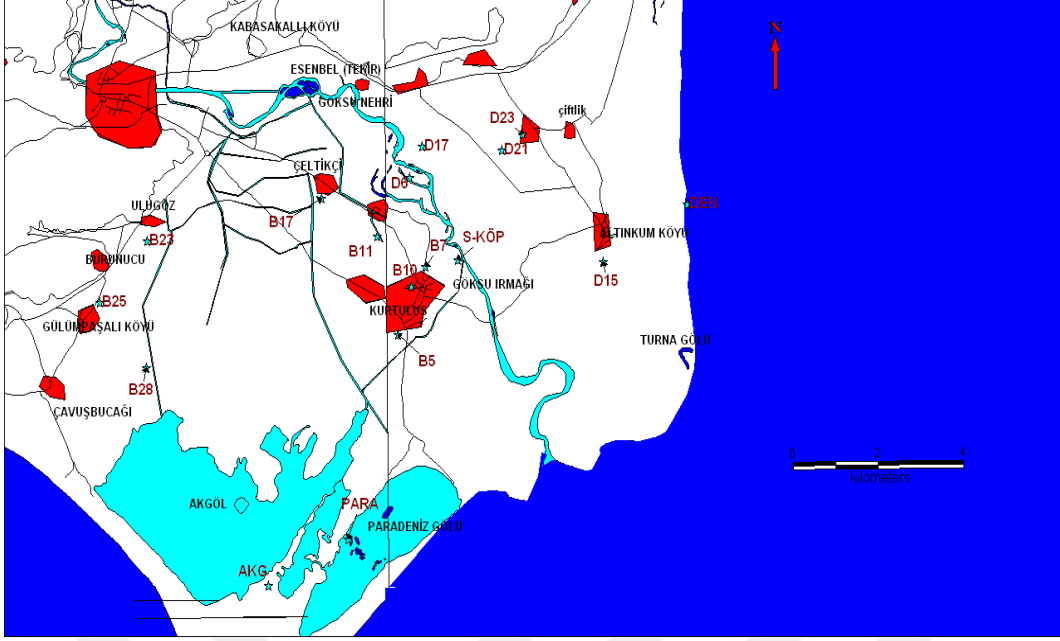
Program, jeokimyasal parametrelere tamamen uyarlanabilir bir veri tabanını içerir. Program su ile ilgili jeokimyasal veri haritası çıkarmak ve yorumlamak için sık kullanılan analiz araçlarının ve grafiksel teknolojilerinin kapsamlı bir biçimde seçimini sağlar.

AquaChem'in analiz araçları, geniş bir aralıktaki hidrokimyasal verileri karşılaştırmak ve yorumlamak için sık sık kullanılan hesaplamaları ve fonksiyonları kapsar [AquaChem, 2006].

Yeraltı suyunda çözülmüş katıların %90 dan fazlası sekiz iyondan oluşmaktadır: bu iyonlar Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- ve CO_3^{2-} olup, genellikle 1 mg/L'den büyük konsantrasyonlarda bulunur. Veri tabloları elde edilen su kimyası analiz sonuçlarını en yaygın sunma şeklidir. Söz konusu veriler pek çok amaç için grafiksel olarak da gösterilebilir [Fetter, 2004].

Su kimyası fasiyesi terimi, bir akiferde kimyasal bileşimleri farklı olan yeraltı su kütlelerini tanımlamak için kullanılır. Söz konusu fasiyesler akiferin litolojisi ve akış yollarının bir fonksiyonudur.

Deltadan yağışlı mevsim de alınan **13** yeraltı, **5** yüzey suyu olmak üzere toplamda **18** adet numune, x-y koordinatlarına göre MapInfo 9.5 CBS yazılımı kullanılarak bölgenin sayısal haritası üzerine aktarılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Göksu Deltası yüzey-yeraltı suyu majör iyon analizlerinin yapıldığı numune noktaları.

Yeraltı suyu numunelerde yapılan analiz sonuçları Çizelge 4.2' de gösterilmiştir. Çizelge deki değerler teker teker AquaChem veri giriş penceresi yardımı ile programa girilmiştir (Şekil 4.6) .

Çizelge 4.2. Yüzey ve yeraltı suları majör iyon analiz sonuçları (mg/L).

<i>Yeraltı suyu</i>	X (m)	Y (m)	Na	K	Mg	Ca	Cl	SO4	CO3	HCO3
B23	584146	4023534	38.91	62.25	19.21	10.3	55.49	69.14	20	225
B28	584132	4020914	46.65	13.07	23.8	37.68	33.87	26.32	20	145
D17	590609	4025492	36.03	14.56	52.21	88.15	35.86	75.14	40	325
B7	590687	4023003	26.2	12.92	43.14	74.24	15.1	41.31	90	265
B5	590049	4021586	38.88	15.03	30.53	29.73	56.36	22.9	40	230
B10	590359	4022596	35.35	13.42	70.08	67.34	26.31	83.77	50	305
D21	592489	4025404	129.29	17.01	66.77	91.97	95.62	159.47	30	400
B17	588255	4024406	19.92	12.66	34.67	67.46	53.94	50.01	20	150
D6	590322	4024846	22.3	13.62	55.86	118.58	26.64	141.76	10	350
D23	592989	4025745	101.96	23.35	39.16	47.23	149.96	40.06	40	175
B25	583035	4022250	30.29	11.21	28.94	92.41	52.5	54.41	0	230
D15	594877	4023102	129.26	36.27	54.18	53.74	87.87	69.85	30	395
B11	589569	4023617	33.73	14.04	32.57	55.26	49.25	39.5	20	220
<i>Yüzey Suyu</i>										
Sökün köp.	591453	4023145	10.58	12.13	19.19	64.91	10.89	33.1	30	140
Regülatör	582869	4029092	11.12	12.19	19.06	65.94	11	36.33	30	140
Paradeniz	588885	4017363	5457.9	266.59	517.33	166.08	9177.12	97.508	50	100
Deniz	596865	4024296	6978.9	599.17	623.1	561.99	13921.1	410.147	50	70
Akgöl	587003	4016404	35	1.32	20.9	18.08	19.12	94.4	60	150

Parameter	Unit	Value	meq/l	MCLG
Flow Rate	gpm			
Temperature	°C	20.2		
Depth of Sampling point	m			
Water Table Elevation	m(asl)			
Total Suspended Solids	mg/l			
Total Organic Carbon	mg/l			
Measured Alkalinity	mg/l CaCO3			
Total Dissolved Solids	mg/l			
El Conductivity	uS/cm	843		
Density	g/cm3			
pH		7.95		
Eh	mV			
Li	mg/l			
K	mg/l	13.42		0.34
Na	mg/l	35.35		1.54

Şekil 4.6. AquaChem programı veri giriş penceresi.

Programa girilen veriler sonucunda, deltada ki yeraltı ve yüzey sularının fasiyesi (tipi) ve Şekil 4.7 ve Çizelge 4.3 'de gösterilmiştir.

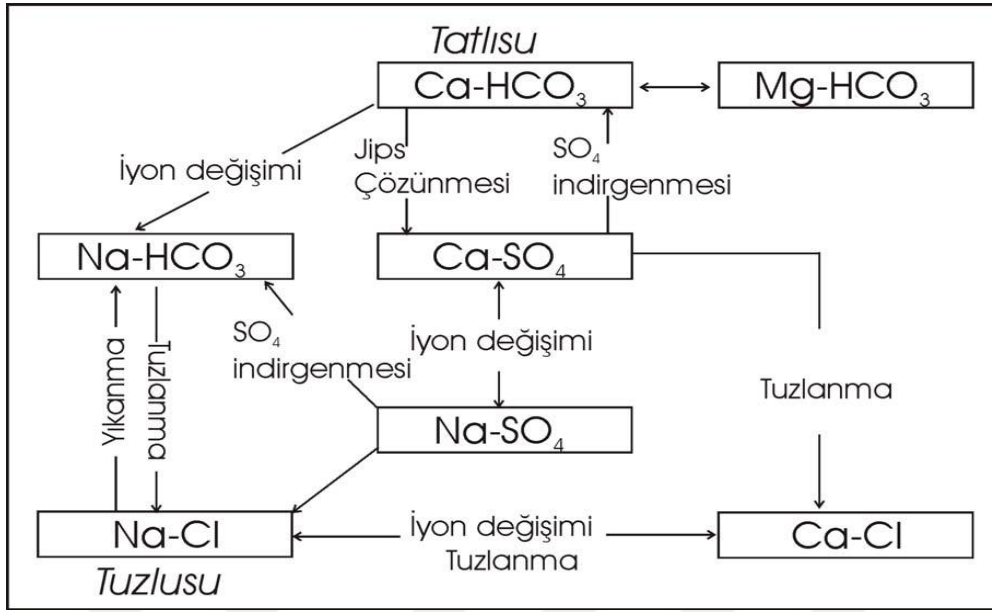
ID	SAMPLEID	WATERTYPE	SAMPLE_DATE	STATIONID	SYMBOL	REP
18	akgöl	Na-HCO3-CO3-SO4	22/02/2011	AKGOL	3	<input type="checkbox"/>
6	B10	Mg-Ca-HCO3	22/02/2010	B10	3	<input checked="" type="checkbox"/>
13	B11	Ca-Mg-HCO3	22/02/2010	AKGOL	3	<input checked="" type="checkbox"/>
8	B17	Ca-Mg-HCO3-Cl	22/02/2010	B17	3	<input checked="" type="checkbox"/>
1	B23	Na-K-Mg-HCO3-Cl-SO4	22/02/2010	B23	3	<input checked="" type="checkbox"/>
11	B25	Ca-Mg-HCO3	22/02/2010	B25	3	<input checked="" type="checkbox"/>
2	B28	Na-Mg-Ca-HCO3	22/02/2010	B28	3	<input checked="" type="checkbox"/>
5	B5	Mg-Na-Ca-HCO3-Cl	22/02/2010	B5	3	<input checked="" type="checkbox"/>
4	B7	Ca-Mg-HCO3-CO3	22/02/2010	B7	3	<input checked="" type="checkbox"/>
12	D15	Na-Mg-Ca-HCO3	22/02/2010	D15	3	<input checked="" type="checkbox"/>
7	D21	Na-Mg-Ca-HCO3-SO4	22/02/2010	D21	3	<input checked="" type="checkbox"/>
10	D23	Na-Mg-Ca-Cl-HCO3	22/02/2010	D23	3	<input checked="" type="checkbox"/>
9	D6	Ca-Mg-HCO3-SO4	22/02/2010	D6	3	<input checked="" type="checkbox"/>
17	deniz	Na-Cl	22/02/2011	DENİZ	3	<input type="checkbox"/>
16	paradeniz	Na-Cl	22/02/2011	PARADENİZ	3	<input type="checkbox"/>
15	regülatör	Ca-Mg-HCO3	22/02/2011	REGULATOR	3	<input type="checkbox"/>
14	sokünköprü	Ca-Mg-HCO3-CO3	22/02/2011	SOKUN_KOP	3	<input type="checkbox"/>

Şekil 4.7. AquaChem sonuç ekranı.

Çizelge 4.3 . Göksu Deltası yüzey ve yeraltı suyu kimyasal fasiyesi (tipi).

Kuyu no	Su tipi
B10	Mg-Ca-HCO ₃
B11	Ca-Mg- HCO ₃
B17	Ca-Mg- HCO ₃ -Cl
B23	Na-K-Mg- HCO ₃ -Cl-SO ₄
B25	Ca-Mg- HCO ₃
B28	Na-Mg-Ca- HCO ₃
B5	Mg-Na-Ca- HCO ₃ -Cl
B7	Ca-Mg- HCO ₃ -CO ₃
D15	Na-Mg-Ca- HCO ₃
D17	Ca-Mg- Cl -HCO ₃
D21	Na-Mg-Ca- HCO ₃ - SO ₄
D23	Na-Mg-Ca-Cl- HCO ₃
D6	Ca-Mg- HCO ₃ - SO ₄
Yüzey suyu	Su tipi
Akgöl (Akg-1)	Na- HCO ₃ - CO ₃ - SO ₄
Deniz	Na-Cl
Paradeniz (Para-1)	Na-Cl
Regülatör (R-1)	Ca-Mg- HCO ₃
Sökün köprü (SK-1)	Ca-Mg- HCO ₃ - CO ₃

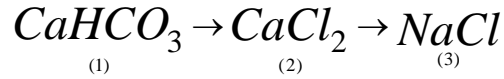
Yukarıda ki sonuçlar incelendiğinde; Delta da alüvyon akiferden üretim yapan kuyu sularının kimyasal karakteristikleri deniz suyu ile kirlenmemiş bölgelerde **Ca-Mg-HCO₃** iken (B10, B11, B25, B7) özellikle deniz suyu girişimi nedeni ile birçok kuyu da suyun kimyasına **Na** ve **Cl** iyonlarının da eklendiği görülmüştür. Bu farklı fasiyeslerin oluşmasında etkili kimyasal süreçler Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.8. Farklı yeraltı suyu tiplerinin oluşmasında etkili kimyasal süreçler [Adams, vd., 2001].

Yeraltı sularında $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ derişimi, yeraltı sularının atmosferik veya biyojenik CO_2 'i bünyesine alması sonucunda karbonat minerallerinin çözünmesinden kaynaklanır. Ca-Cl , Na-Cl ve Na-HCO_3 fasiyesleri tatlısu-denizsuyu girişimi ile gerçekleşen tuzlanma-yıkanma olaylarına bağlı olarak oluşur. Deniz suyu girişimi nedeniyle tuzlanmakta olan tatlı suda sırasıyla aşağıdaki hidrokimyasal fasiyes değişimleri görülür [Hatipoğlu, 2004].

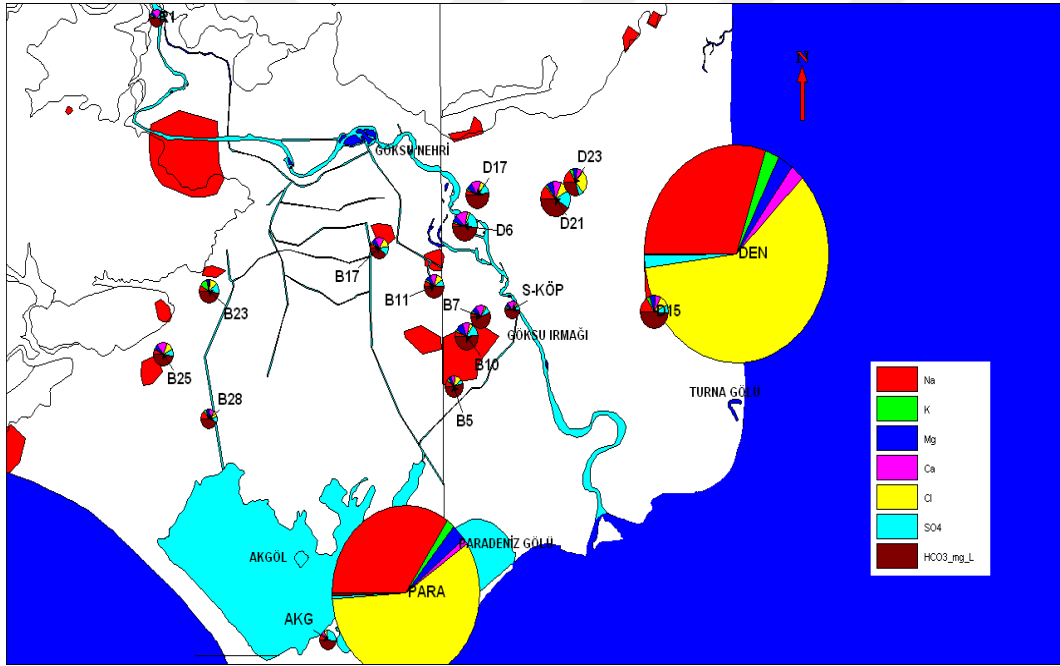
Tuzlanma:



Burada Ca-HCO_3 (1) fasiyesindeki tatlısu tuzlanma etkisi ile ilk olarak Ca-Cl (2) fasiyesine ve ilerleyen tuzlanma ile Na-Cl (3) fasiyesine geçer.

Yüzey suları içinde de Akgöl'ün denizden etkilendiği ancak Paradeniz'in deniz suyu ile birebir aynı karakterde olduğu görülmüştür.

MapInfo 9.5 programı kullanılarak Çizelge 4.2 'de ki majör iyon analiz sonuçlarına göre yüzey ve yeraltı sularının Pie (pasta) diyagramlarını içeren tematik harita oluşturulmuştur (Şekil 4.9) . Harita incelendiğinde Paradeniz'in deniz ile benzer içeriğe sahip olduğu açıkça görülmektedir. Kuyu sularında ise bikarbonat iyonunun baskın iyon olduğunu, hemen hemen her kuyuda klorür iyonuna rastlandığı görülmektedir. Bu da bize yeraltı sularının tuzlanma tehlikesi altında olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.9. Majör iyon analiz sonuçlarına göre yüzey ve yeraltı sularının Pie (pasta) diyagramları.

4.2.2. Yeraltı ve YüzeY Sularının Ağır Metal İçerikleri Açısından Değerlendirilmesi

AquaChem programına majör iyon analiz sonuçlarının yanı sıra, deltadan 3 dönemde alınan 58 yeraltı suyu ve alandan alınan gübrenin (amonyum-nitrat) Çizelge 4.4-4.5-4.6'da ki ağır metal analiz sonuçları da girilmiştir.

Çizelge 4.4. YüzeY-Yeraltı suyu ağır metal analiz sonuçları (1.Dönem) (mg/L).

Kuyu No	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
D1	0	0.0191	0.6448	0.0035	0	0.0001	0.0016	0.0006
D23	0.0004	0.0015	0	0	0	0.0079	0.0007	0.001
D24	0.004	0.0033	0	0.0002	0	0.0002	0.0009	0.0006
D21	0	0.1062	1,344	0.0083	0	0.0001	0.0014	0.0007
D22	0	0.0108	0	0	0	0.0003	0.0014	0.0008
D19	0	0.1792	0.2379	0.0043	0	0.0049	0.0014	0.0008
D20	0	0.1864	1,849	0.0016	0	0.0033	0.0008	0.0009
D16	0.0032	0.1613	3,518	0.0207	0.0016	0.0073	0.001	0.0038
D17	0	0.0592	0	0	0	0	0.0069	0.0022
D18	0	0.0475	0	0	0	0	0.0071	0.0023
D2	0	0.2463	0.8267	0.0061	0	0.0115	0.0007	0.0005
D3	0	0.1486	0	0.0037	0	0.0003	0.0007	0.0001
D4	0	0.0038	0	0.0003	0	0	0.0007	0.0001
D5	0	0.063	0	0.0066	0	0.0229	0.0008	0.0002
D6	0	0.018	0	0.0049	0	0	0.0007	0.0001
D7	0	0.2859	0	0.0087	0	0	0.0007	0.0001
D8	0	0.0584	0	0.0035	0	0.0015	0.0007	0.0001
D25	0.0018	0.0024	0	0	0	0.0001	0.0011	0.0002
D9	0	0.3562	2,331	0.0054	0	0.001	0.0007	0.0003
D10	0	0.005	0	0	0	0	0.0013	0.0001
D11	0	0.0187	0	0	0	0.0002	0.0007	0.0002
D12	0	0.0044	0	0	0	0	0.0014	0.0004
D13	0	0.2168	0	0.0047	0	0.0225	0.0014	0.0004
D14	0	0.0028	0	0	0	0	0.0007	0.0001
D15	0	0.0828	0	0.0036	0	0.005	0.0016	0.0004
B25	0	0.001	0	0.0017	0	0.0002	0.0008	0.0001
B27	0	0.0163	0	0.0026	0	0.0023	0.0007	0.0002
B26	0	0.7607	0	0.0929	0	4,464	0.0225	0.0043

Çizelge 4.4 Devamı. YüzeY-Yeraltı suyu ağır metal analiz sonuçları (1.Dönem) (mg/L).

B28	0.0001	0.002	0	0.0017	0.003	0.0054	0.0007	0.0001
B29	0.0027	0.0015	0	0.0018	0	0	0.0055	0.0003
B30	0	0.007	0	0	0	0	0.0021	0.0002
B31	0	0.002	0	0.001	0	0.0002	0.0008	0.0005
B22	0	0.0118	0	0.0182	0	0.0002	0.0014	0.0003
B23	0	0.0046	0	0.0043	0	0.0011	0.0008	0.0001
B24	0	0.0021	0	0.004	0	0	0.0009	0.0001
B19	0	0.0031	0	0.0003	0	0.0006	0.0007	0.0001
B20	0	0.0033	0	0.0022	0	0.06	0.0008	0.0001
B21	0	0.001	0	0.001	0	0.0001	0.0007	0.0001
B16	0	0.0862	0	0.0039	0	0.0122	0.0008	0.0001
B17	0	0.002	0	0.0014	0	0.0078	0.0007	0.0001
B18	0	0.0095	0	0.0056	0	0.0007	0.0014	0.0004
B12	0	0.0086	0	0.0011	0	0	0.0007	0.0001
B13	0	0.1091	0	0.003	0	0.0007	0.0007	0.0002
B14	0	0.05245	0	0.1328	0	0.6889	0.0338	0.0105
B15	0	0.0428	0	0.013	0	0.0017	0.0014	0.0004
B6	0	0.0655	0.7336	0.002	0	0.0013	0.0007	0.0004
B7	0	0.0364	0	0.0011	0	0.0081	0.0008	0.0002
B8	0.0019	0.001	0	0	0.0002	0.0036	0.0007	0.0006
B9	0	0.0345	0	0.0001	0	0.0002	0.0007	0.0002
B1	0	0.021	0	0	0	0.0001	0.002	0.0003
B2	0	0.0383	0.03351	0.0021	0	0.0006	0.0008	0.0008
B3	0.0012	0.0009	0	0	0	0.0012	0.0011	0.0014
B4	0	0.228	0	0	0	0.0001	0.0015	0.0005
B32	0	0.0229	0	0	0	0	0.0069	0.002
B11	0.0013	0.0248	0	0.0025	0	0.0002	0.0008	0.0005
B10	0	0.0224	0.7206	0.002	0	0.0016	0.0008	0.0009
B5	0	0.0655	0	0	0	0.0221	0.0069	0.0021
B33	0	0.0123	0.04005	0.0026	0	0	0	0
YüzeY Suyu								
Deniz	0.0014	0.0044	0.1663	0.0654	0	0.0005	0	0
Regülatör	0.0007	0.1689	1,534	0.0153	0.0022	0.0002	0.0009	0.0034
Sökün köp	0	0.0025	0	0.0036	0	0	0.0007	0.0001
Paradeniz	0	0.0096	0.1082	0.0671	0	0.0006	0	0
Regülatör	0	0.0076	0.1938	0.0295	0.0001	0.0002	0	0
Gübre	0	0.0017	0.00516	0.0008	0	0	0	0

Çizelge 4.5. Yüzey-Yeraltı suyu ağır metal analiz sonuçları (2.Dönem) (mg/L).

Kuyu No	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
D1	0.0025	0.0048	0.1825	0.0021	0.0002	0.0037	0.0005	0.0003
D23	0.0043	0.0014	0.0021	0.0010	0.0000	0.3780	0.0002	0.0007
D24	0.0055	0.0003	0.0170	0.0004	0.0000	0.0032	0.0001	0.0000
D21	0.0005	0.1048	1.4160	0.0063	0.0000	0.0029	0.0001	0.0001
D22	0.0000	0.0060	0.0079	0.0003	0.0000	0.0008	0.0000	0.0002
D19	0.0005	0.1583	0.0322	0.0060	0.0000	0.2857	0.0000	0.0000
D20	0.0003	0.0476	1.2520	0.0017	0.0000	0.0503	0.0000	0.0000
D16	0.0005	0.0693	1.2690	0.0021	0.0000	0.0581	0.0001	0.0000
D17	0.0009	0.1135	0.1134	0.0050	0.0000	0.0083	0.0061	0.0000
D18	0.0017	0.0940	0.0330	0.0012	0.0001	0.0004	0.0002	0.0000
D2	0.0009	0.2249	0.0412	0.0024	0.0000	0.1353	0.0001	0.0000
D3	0.0003	0.0350	0.0310	0.0033	0.0000	0.0167	0.0001	0.0037
D4	0.0028	0.0005	0.0131	0.0009	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000
D5	0.0000	0.0211	0.0282	0.0044	0.0000	0.7114	0.0000	0.0001
D6	0.0001	0.1860	0.0230	0.0048	0.0000	0.0098	0.0001	0.0000
D7	0.0001	0.2885	0.0192	0.0069	0.0000	0.0016	0.0000	0.0004
D8	0.0005	0.0510	0.0161	0.0037	0.0000	0.0933	0.0000	0.0000
D25	0.0039	0.0001	0.0026	0.0003	0.0000	0.0042	0.0000	0.0000
D9	0.0031	0.0021	0.0075	0.0003	0.0000	0.0010	0.0000	0.0004
D10	0.0060	0.0013	0.0006	0.0003	0.0000	0.0009	0.0000	0.0001
D11	0.0009	0.0136	0.0330	0.0007	0.0000	0.0003	0.0001	0.0000
D12	0.0008	0.0031	0.0235	0.0002	0.0000	0.0012	0.0001	0.0001
D13	0.0005	0.0084	0.1181	0.0003	0.0000	0.1230	0.0001	0.0000
D14	0.0024	0.0031	0.0988	0.0003	0.0000	0.0032	0.0001	0.0004
D15	0.0003	0.0581	1.2780	0.0021	0.0000	0.0624	0.0000	0.0000
B25	0.0009	0.0007	0.0167	0.0016	0.0000	0.0012	0.0000	0.0000
B27	0.0004	0.0025	0.0225	0.0018	0.0000	0.0006	0.0000	0.0002
B26	0.0005	0.0018	0.0118	0.0013	0.0000	2.1740	0.0000	0.0000
B28	0.0055	0.0010	0.0118	0.0015	0.0002	0.1237	0.0000	0.0000
B29	0.001	0.0021	0	0.0014	0	0	0.0082	0.0001
B30	0.0003	0.0027	0.0026	0.0003	0.0000	0.0082	0.0000	0.0000
B31	0.0020	0.0003	0.0102	0.0010	0.0000	0.0019	0.0000	0.0002
B22	0.0024	0.0060	0.0198	0.0023	0.0000	0.0052	0.0000	0.0004
B23	0.0003	0.0058	0.0103	0.0025	0.0000	0.0359	0.0001	0.0000
B24	0.0005	0.0018	0.0086	0.0027	0.0000	0.0012	0.0000	0.0000
B19	0.0068	0.0017	0.0127	0.0011	0.0000	0.4906	0.0001	0.0000
B20	0.0020	0.0015	0.0124	0.0024	0.0000	1.2130	0.0000	0.0002
B21	0.0002	0.0304	0.0587	0.0016	0.0000	0.0815	0.0000	0.0000
B16	0.0002	0.0386	0.0685	0.0015	0.0000	0.0802	0.0000	0.0000
B17	0.0028	0.0014	0.0374	0.0015	0.0000	0.1854	0.0000	0.0001
B18	0.0009	0.0031	0.0180	0.0030	0.0000	0.0533	0.0000	0.0001

Çizelge 4.5 devamı. YüzeY-Yeraltı suyu ağır metal analiz sonuçları (2.Dönem)
(mg/L).

B12	0.0006	0.0209	0.0142	0.0015	0.0000	0.0010	0.0002	0.0000
B13	0.0004	0.0850	0.1836	0.0017	0.0000	0.0053	0.0000	0.0000
B14	0.0001	0.1781	0.0391	0.0042	0.0000	0.8423	0.0001	0.0081
B15	0.0013	0.0119	0.0794	0.0092	0.0000	0.0117	0.0000	0.0000
B6	0.0002	0.0510	0.3531	0.0021	0.0000	0.0097	0.0012	0.0000
B7	0.0003	0.1424	0.0438	0.0015	0.0000	0.1472	0.0000	0.0001
B8	0.0043	0.0009	0.0048	0.0078	0.0000	0.1205	0.0000	0.0001
B9	0.0006	0.0256	0.2756	0.0008	0.0000	0.0254	0.0000	0.0003
B1	0.0011	0.0172	0.0438	0.0007	0.0000	0.0039	0.0001	0.0000
B2	0.0005	0.0144	0.0499	0.0004	0.0000	0.0111	0.0000	0.0000
B3	0.0030	0.0000	0.0176	0.0009	0.0000	0.0431	0.0000	0.0001
B4	0.0000	0.0844	0.0172	0.0009	0.0000	0.0018	0.0000	0.0005
B32	0.0000	0.0000	0.0139	0.0007	0.0000	0.0016	0.0000	0.0001
B11	0.0016	0.1110	0.0180	0.0042	0.0000	0.0002	0.0000	0.0001
B10	0.0005	0.1553	0.1872	0.0016	0.0000	0.0388	0.0000	0.0000
B5	0.0000	0.0358	0.0503	0.0012	0.0000	0.1403	0.0000	0.0000
B33	0.0013	0.0114	0.0515	0.0004	0.0000	0.0012	0.0001	0.0000

YüzeY suyu

Deniz	0.0070	0.0022	2.0740	0.0166	0.0000	0.0790	0.0018	0.0000
Regülatör	0.0005	0.0075	0.0518	0.0022	0.0000	0.0007	0.0000	0.0000
Sökün köp	0.0006	0.0015	0.0197	0.0020	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000
Paradeniz	0.0000	0.0406	0.4812	0.0088	0.0000	0.1011	0.0022	0.0000
Akgöl	0.0015	0.0205	0.2492	0.0045	0.0001	0.0011	0.0001	0.0000

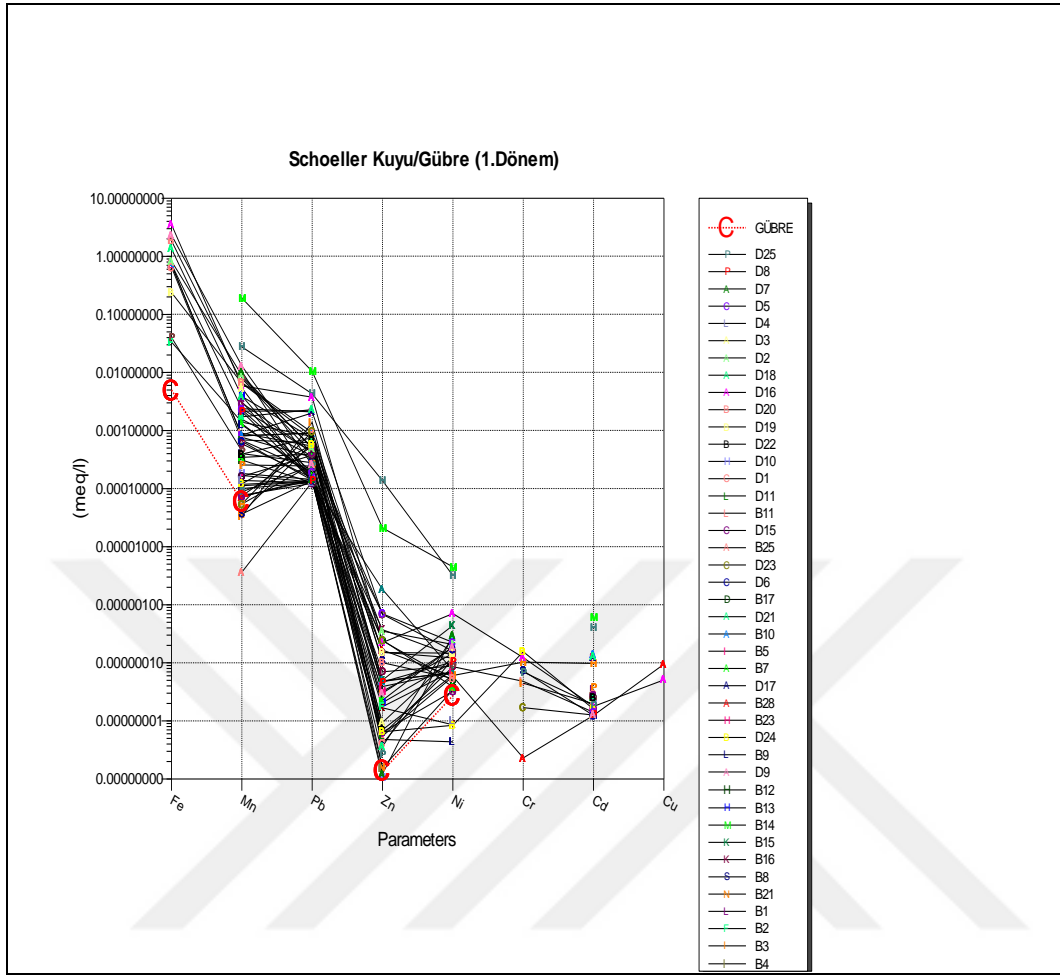
Çizelge 4.6. YüzeY-Yeraltı suyu ağır metal analiz sonuçları (3.Dönem) (mg/L).

Kuyu No	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
D1	0.001629	0.00242	0.3352	0.00233	0.00131	0.03816	0.001344	0.00273
D23	0.0032	0.001	0.1286	0.0013	0.0001551	0.1551	0.0005824	0.0009322
D24	0.003142	0.001004	0.06855	0.0006539	0.0004058	0.001788	0.0004691	0.0009491
D21	0	0.04878	0.04083	0.003133	7.879E-05	0.00357	0.0006368	0.0003263
D22	0	0.008952	0.0091	0.0014772	0.00036	0.01028	0.0014584	0.0009378
D19	0	2.2384	0.00444	0.00936	0.00154	0.05444	0.001112	0.00214
D20	0	0.04228	0.03032	0.001704	0.0008206	0.1077	0.0006016	0.0006339
D16	0	0.0612	1.133	0.001522	0.0001321	0.08926	0.0005605	0.003105
D17	0	0.02088	0.05014	0.00152	0.00028	0.00392	0.00173	0.00124
D18	0	0.0208	0.1417	0.000944	0.000344	0.00466	0.004	0.001051
D2	0	0.1787	0.005218	0.003862	0.0004463	0.3692	0.0005081	0.0004076
D3	0	0.04311	0.003713	0.002371	0.0002469	0.01175	0.0005409	0.00121
D4	0	0.008599	0.2227	0.002005	0.0008593	0.008237	0.0003565	0.0005602
D5	0	0.03334	0.09338	0.004473	0.0007698	0.5089	0.0003835	0.001312
D6	0.006011	0.1011	0.009136	0.00546	0.0002039	0.004553	0.0005805	0.0004549
D7	0	0.2169	0.03653	0.03111	0.001396	0.009777	0.0007985	0.004209
D8	0	0.07154	0.1221	0.002145	0.0001635	0.849	0.0004281	0.00291
D25	0.002088	0.0009585	0.009551	0.001136	0.0004973	0.005309	0.0004804	0.002996
D9	0.001228	0.02765	0.00451	0.0005698	0.0003061	0.004507	0.0004274	0.000943
D10	0.003656	0.0001215	0.006299	0.0005059	0.001563	0.004178	0.0004062	0.00156
D11	0	0.009271	0.2437	0.001225	0.001095	0.0197	0.0004227	0.005203
D12	0.002806	0.00704	0.00826	0.000916	0.000215	0.00486	0.005292	0.0009728
D13	0	0.008466	0.1892	0.0005172	0.0003876	0.135	0.0003603	0.0006553
D14	0.002201	0.004976	0.7133	0.0009204	0.000922	0.007878	0.0004584	0.001379
D15	0.0003145	0.08165	0.007452	0.003861	0.0003942	0.04776	0.0004361	0.0008303
B25	0	0.001993	0.1053	0.001598	0.0007448	0.01802	0.0004254	0.001775
B27	0	0.003188	0.07391	0.001715	0.0002822	0.03317	0.0009899	0.0004044
B26	0	0.0008273	0.001361	0.001219	1.235E-05	1.407	0.0005641	0.0002985
B28	0.002649	0.001366	0.007737	0.001256	0.001294	0.2251	0.0003831	0.0009673
B30	0	0.002522	0.00557	0.00083	0.0002204	0.003636	0.002816	0.0009434
B31	0.0006486	0.0007767	0.05659	0.0008826	0.000171	0.002762	0.0003489	0.0004177
B23	0	0.003661	0.2415	0.003	0.001604	0.0239	0.0005649	0.0005946
B24	0.007513	0.001806	0.08576	0.002152	0.0009906	0.003565	0.0005196	0.02209
B19	0.001267	0.007898	0.2079	0.00194	0.0002693	1.142	0.0004402	0.003258
B20	0.0008494	0.002451	0.02255	0.002917	0	1.949	0.0005067	0.007903
B21	0	0.004292	0.001181	0.001766	5.711E-05	0.004897	0.0003824	0.0002466
B16	0	0.03052	0.141	0.001927	0.0004867	0.102	0.0006299	0.001214
B17	0.004065	0.0003818	0.02698	0.001206	0.0001112	0.2564	0.0005044	0.001789
B18	0	0.01595	0.002178	0.003163	0.0001283	0.1064	0.0003982	0.0002883
B12	0.003283	0.007371	0.1009	0.0017	0.0004152	0.01024	0.001857	0.02008
B13	0	0.06521	0.004934	0.001449	0	0.01378	0.0003883	0.0002421

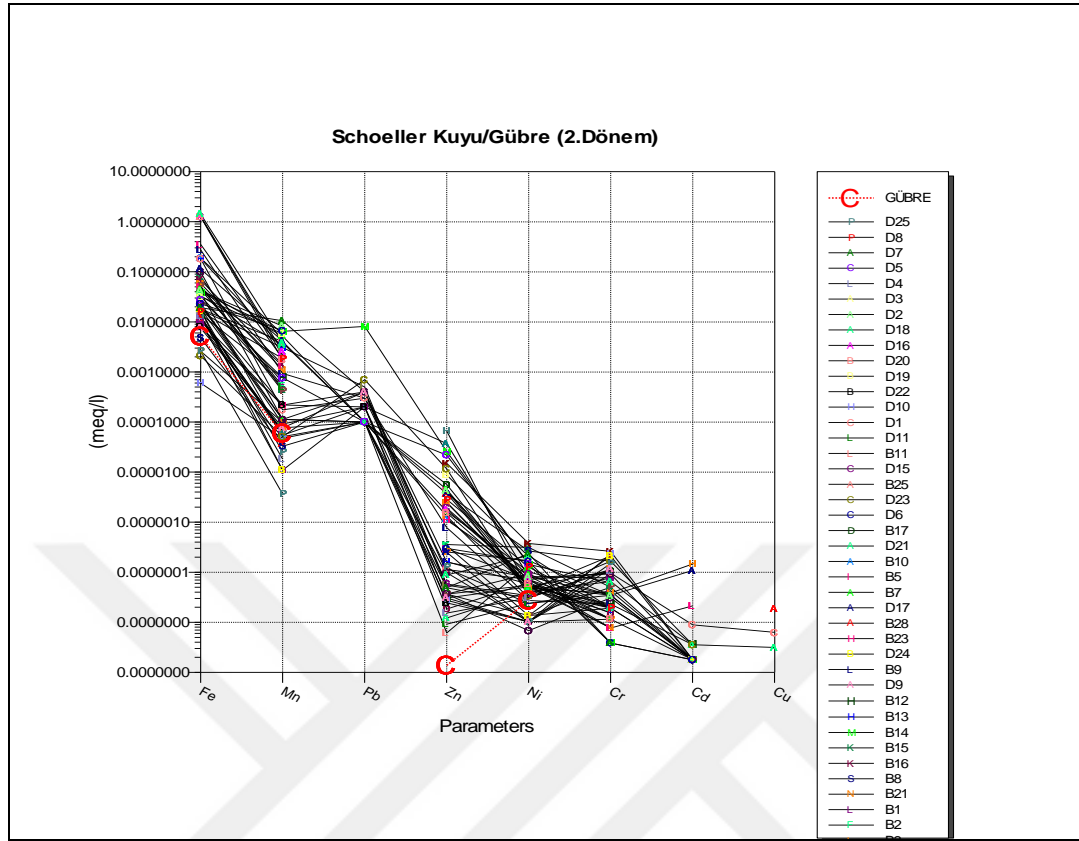
Çizelge 4.6 devamı. YüzeY-Yeraltı suyu ağır metal analiz sonuçları (3.Dönem) (mg/L).

B14	0	0.1536	0.9687	0.003574	0.0003776	1.199	0.004178	0.009931
B15	0	0.008018	0.1631	0.006723	0.0004417	0.06639	0.0004671	0.001242
B6	0	0.05406	0.01998	0.002153	6.088E-05	0.01002	0.0004712	0.0005717
B7	0	0.1381	0.5103	0.001681	0.0001113	0.2936	0.006414	0.002996
B8	0.002727	0.0004491	0.00343	0.0007253	0	0.114	0.0004512	0.000456
B9	0	0.02595	0.5176	0.00105	8.916E-05	0.2015	0.0006543	0.005013
B1	0	0.011	0.06643	0.000517	0	0.009793	0.0004078	0.0006177
B2	0	0.0195	0.2207	0.002528	0.0002832	0.01267	0.0004075	0.002896
B32	0	0.01619	0.012625	0.0026755	0.0002385	0.029625	0.008365	0.01993
B11	0	0.07175	0.02757	0.003749	1.033E-05	0.002141	0.0004406	0.002502
B10	0	0.161	0.00353	0.001845	2.706E-05	0.02457	0.0003996	0.0003265
B5	0	0.048	0.8222	0.005282	0.0016746	0.0482	0.001776	0.008558
B33	0	0.01145	0.037755	0.0031005	0.0005515	0.0293	0.011095	0.02869
YüzeY suyu								
Akgöl	0.01325	0.314	0.00718	0.00335	0.0083	0.04165	0.14745	0.0974
Regülatör	0	0.03224	0.204	0.0045	0.00084	0.0069	0.00044	0.0009
Sökün k.	0	0.026	0.0127	0.00323	0.00017	0.0023	0.0004	0.00021
Deniz	0	0.0181	0.0339	0.0563	0	0.0204	0.0171	0.044
Paradeniz	0	0.0547	0.359	0.0544	0.0083	0.188	0.1712	0.03102

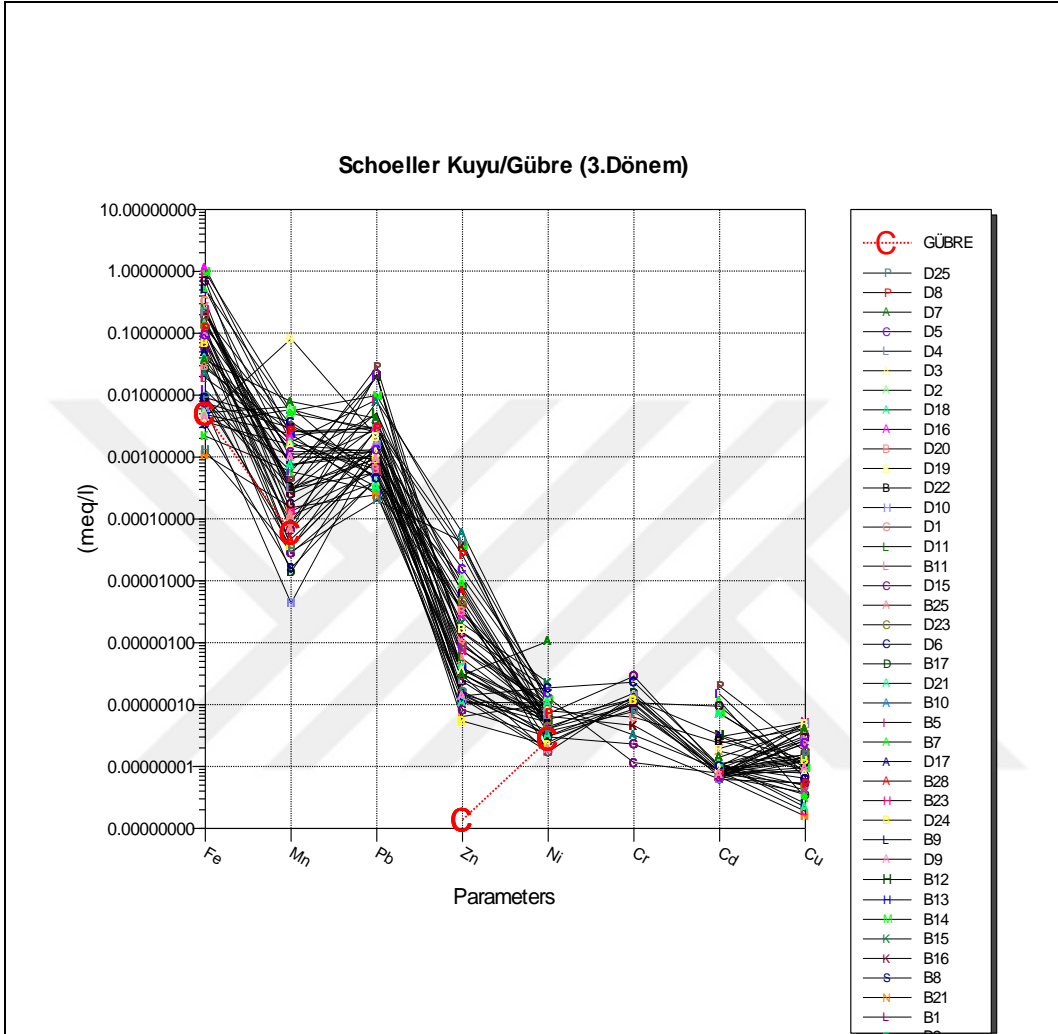
Bu sonuçlar her dönem için Schoeller yarı logaritmik diyagrama aktarılmıştır. Schoeller yarı logaritmik diyagram gibi diyagramlar gerek iyonların topluca tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından, gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramlardır. Schoeller yarı logaritmik diyagramda benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına sahip sular benzer pik verirler. Bu çalışmada Schoeller diyagramı, ağır metal konsantrasyonları açısından deltadaki kuyu sularının, gübreleme faaliyetlerinden etkilendiğini göstermek amacı ile oluşturulmuştur (Şekil, 4.10, 4.11,4.12).



Şekil 4.10. Yeraltı suyu /gübre ağır metal içeriklerinin karşılaştırılması -1.



Şekil 4.11. Yeraltı suyu /gübre ağır metal içeriklerinin karşılaştırılması -2.



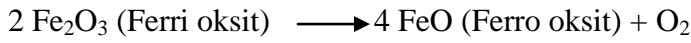
Şekil 4.12. Yeraltı suyu /gübre ağır metal içeriklerinin karşılaştırılması -3.

Schoeller diyagramları incelendiğinde, 3 dönemde de deltadan alınan gübre ile yeraltı suyu ağır metal değerleri birbirine paralel eğriler oluşturmaktadır. Bu da bize demir, mangan, nikel, çinko iyonları açısından karşılaştırıldığında yeraltı sularının gübreden etkilendiğini göstermiştir.

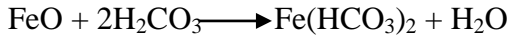
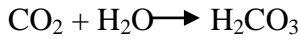
Demir doğada çok bulunmasına rağmen, doğal suların kapsamında az miktarda bulunur. Bunun nedeni demirin sudan hızla çökerek ayrılmasıdır. Suda

demir iki değerlikte olabilir. Bunlar, iki değerlikli demir (ferro) ve üç değerlikli demir (ferri) halindedir. Bazı yeraltı suları ve asidik yüzey sularında fazla miktarda demir bulunabilir [Curt vd.,2004].

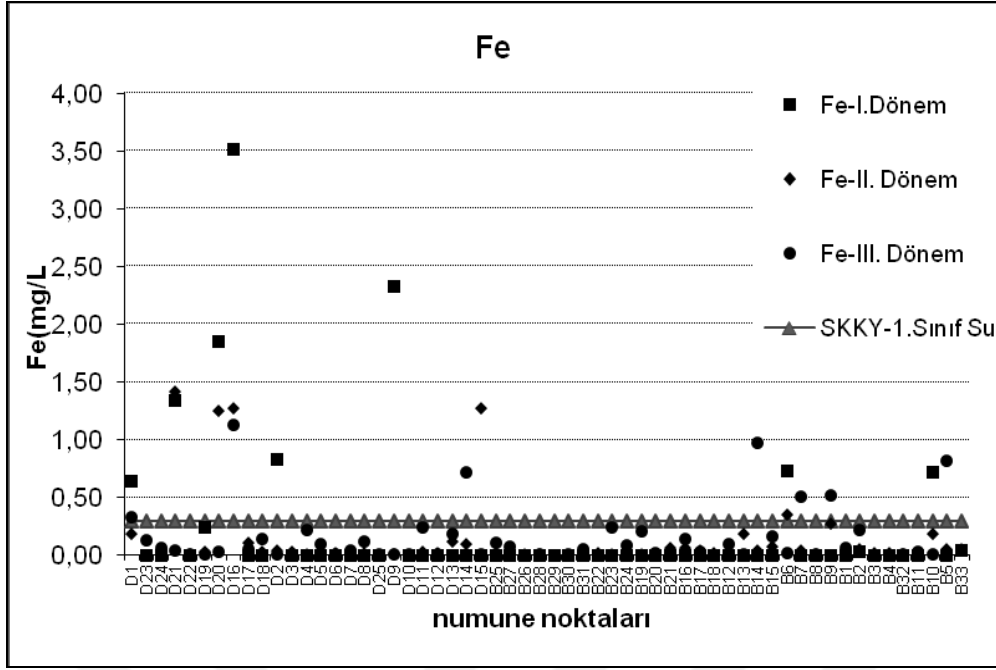
Yağmur suları toprakta ilerlerken geçiş yolu üzerindeki, çürümeye yüz tutmuş bitkilerle karşılaşır. Yağmur suyunun içindeki çözülmüş oksijen bitkiler tarafından kullanılarak CO₂ haline getirilir ve böylece su oksijensiz kalmış olur. İşte bu su temas ettiği demir ve mangan oksitlerini redükte ederek onları suda eriyebilen iki değerlikli bileşikler haline getirir ve çözerek içine alır. Bu sularla beslenen akiferlerden sağlanan yeraltı suları da demir ve mangan açısından zengin olur. İçinde çözülmüş oksijen bulunmayan buna karşın CO₂ bulunan sularla temas eden demir ve manganın çözülmüş hale geçişi aşağıdaki formüllerle ifade edilmiştir. Bu reaksiyonda ferri oksidin, reaksiyon sonucunda ferro oksit haline geçtiği, bunun da CO₂ ile birleşerek (karbonik asit meydana getirerek) ferro bikarbonat haline dönüştüğü görülmektedir. Suda çözülmüş oksijen mevcut olursa veya CO₂ mevcut olmazsa bu olay meydana gelmeyecektir.



Bu oksijen bitkilerin karbonu ile birleşerek $\text{C} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$ vermektedir. Karbondioksit de su ile birleşerek karbonik asit meydana getirmektedir.



Ferro bikarbonat suda kolayca çözüldüğünden böylece su demirli hale gelmektedir [Curt vd.,2004].



Şekil 4.13. Göksu Deltası yeraltı suyu Demir iyonu değişimi.

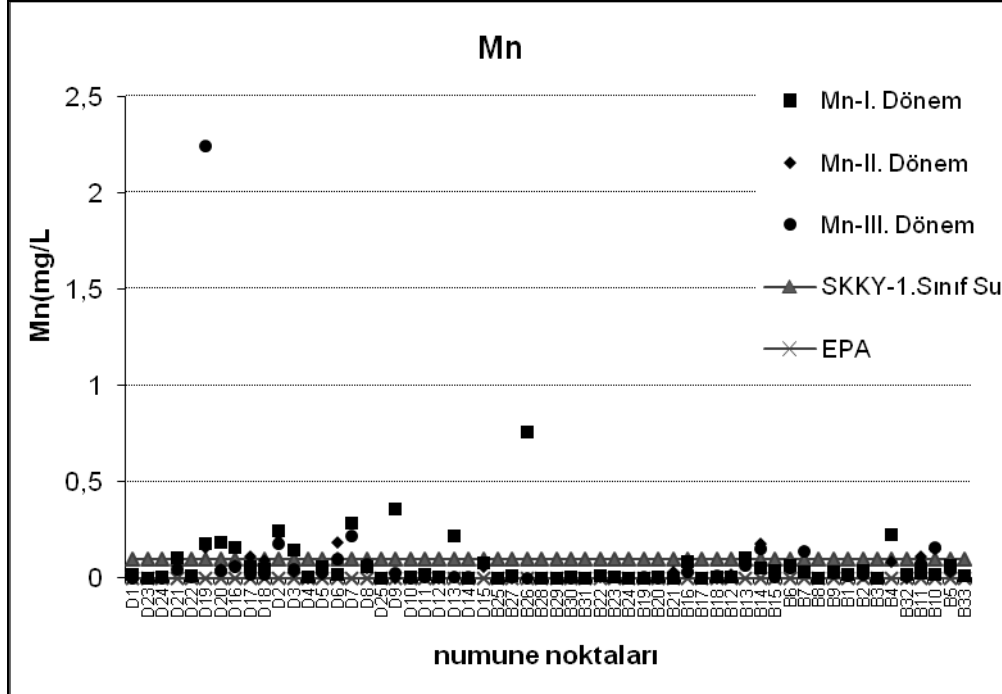
Göksu Deltası yeraltı suyundan alınan numunelerde demir değerleri, 1.dönem 0 ile 3,52 mg/L, 2.dönem 0 ile 1,41 mg/L, 3.dönem 0.0011 ile 1.13 mg/L arasında değişmektedir. Demir değerleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) 1.sınıf su sınır değeri olan 0,3 mg/L ye göre karşılaştırıldığında; 1.dönem 8 kuyu (D1, D9, D21, D20, D16, D2, B6, B10) , 2.dönem 5 kuyu (D21, D20, D16, D15, B6) , 3.dönem 7 kuyu (D1, D16, D14, B14, B5, B7, B9)sınır değerin üzerinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.13).

Demir iyonunun diğer kuyulara oranla yoğun olarak bulunduğu D1, D21, D9, D16, D20, D2, D15, B6, B10 nolu kuyular doğuda Arkarası, Altinkum batıda Kurtuluş, Sökün, Bahçe, köylerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Maksimum demir iyonu konsantrasyonuna 1.dönem de rastlansa da diğer dönemlere oranla demir iyonu konsantrasyonu daha düşük çıkmıştır. Demir iyonunun yoğun olduğu bölgeler Şekil 2.23 ile değerlendirilirse, narenciye, çilek, çeltik üretiminin yapıldığı bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Delta da yapılan araştırmalar sonucunda aylara göre kullanılan gübre ve pestisit miktarları

(Çizelge 2.14- 2.20) incelendiğinde kasım ayında; narenciye üretimi için FeSO_4 , çilek üretimi için mart ayında demir gübresi kullanılması bu dönemde kuyularda demir miktarının artışı açıklamaktadır.

Mangan kalsiyum karbonat içeren topraklarda, MnCO_3 olarak çökelir fakat Mn ile oluşan şelat sabit olmamakla beraber bunun sebebi topraktaki demir ve kalsiyum iyonları ile kolayca yer değiştirebilmesidir.

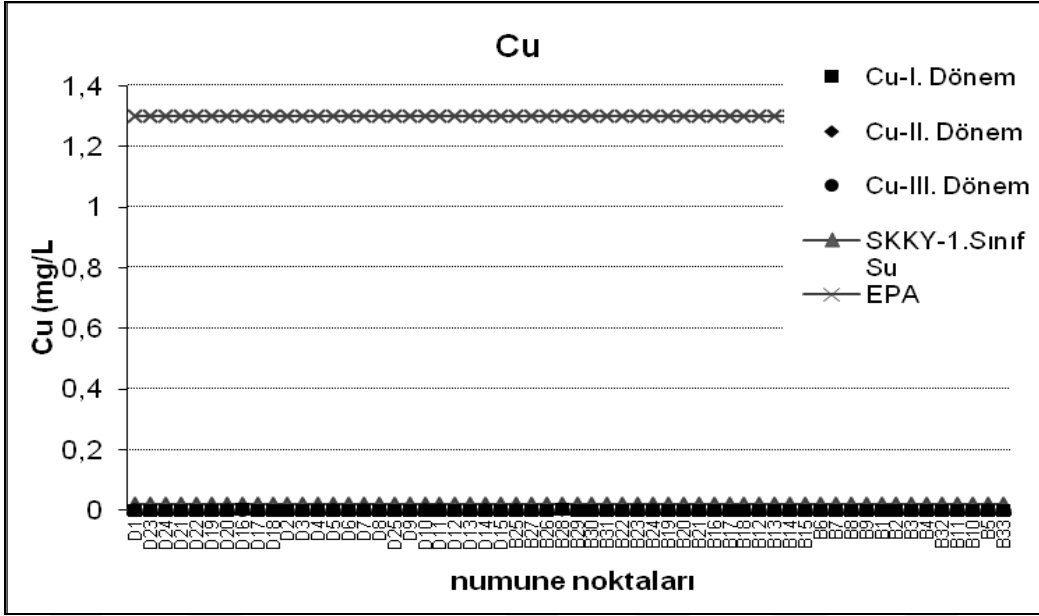
Mangan daha çok sedimentler, metamorfik ve volkanik kayalarda bulunur. Manganın iyonik boyutu kalsiyum ile benzer olduğundan, bu iki element silikat mineralinde yer değiştirebilir. Manganın temel antropojenik kaynakları; endüstriyel aktiviteler, tarımsal faaliyetler (kullanılan kimyasal gübreler, arıtma çamurları ve hayvan gübresi) dir [Bradl, 2005].



Şekil 4.14. Göksu deltası yeraltı suyu Mangan iyonu değişimi.

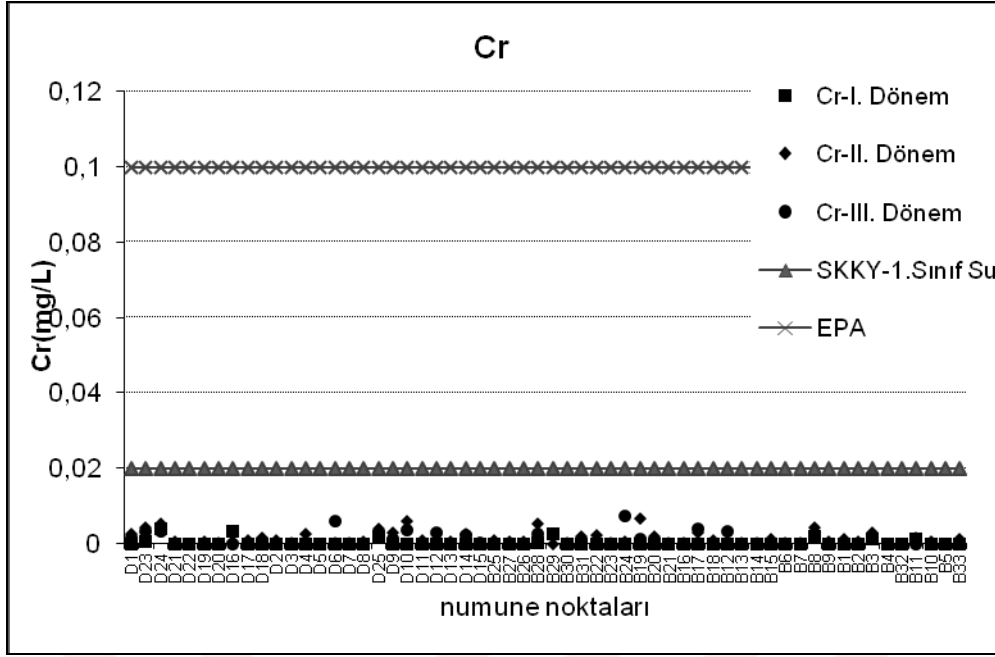
Göksu deltası yeraltı suyundan alınan numunelerde mangan değerleri, 1.dönem 0,001 ile 0,760 mg/L, 2.dönem 0 ile 0,2885 mg/L, 3.dönem 0,0001-0,216 mg/L arasında değişmektedir. Mangan değerleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) 1.sınıf su sınır değeri olan 0,1 mg/L ye ve EPA standardı 0,0015 mg/L'ye göre karşılaştırıldığında; 1.dönem 15 kuyunun SKKY sınır değerini (D1, D21, D22, D19, D20, D16, D2, D3, D7, D9, D13, B26, B13, B14, B4), D10, B25, B21, B8 ve B3 nolu kuyular dışında ki tüm kuyuların EPA standart değerini aştığı tespit edilmiştir. 2.dönem de 10 adet kuyunun (D21, D19, D17, D2, D6, D7, B14, B7, B11, B10) SKKY sınır değerini aştığı, D23, D24, D4, D25, D10, B25, B28, B31, B8, B3, B32 nolu kuyular dışında ki tüm kuyuların EPA standardını aştığı tespit edilmiştir. 3.dönemde 6 adet kuyunun (D19, D2, D7, B14, B7, B10) SKKY sınır değerini aştığı, D23, D24, D25, D10, B26, B28, B31, B17, B8 nolu kuyular dışında ki tüm kuyuların EPA standardını aştığı tespit edilmiştir (Şekil 4.14).

Bakır ve bileşikleri çevrede dolayısıyla yüzeysel sularda bulunabilirler. Sudaki bakır, suyun pH sı, karbonat konsantrasyonu ve diğer anyonlarla ilgilidir. Jeolojik konuma, sanayiye ve gübre kullanımına, yiyeceğe göre topraktan değişik miktarlarda bakır alınır. İnorganik esaslı gübrelerde bakır miktarı 0,01-0,05 mg/g dır.



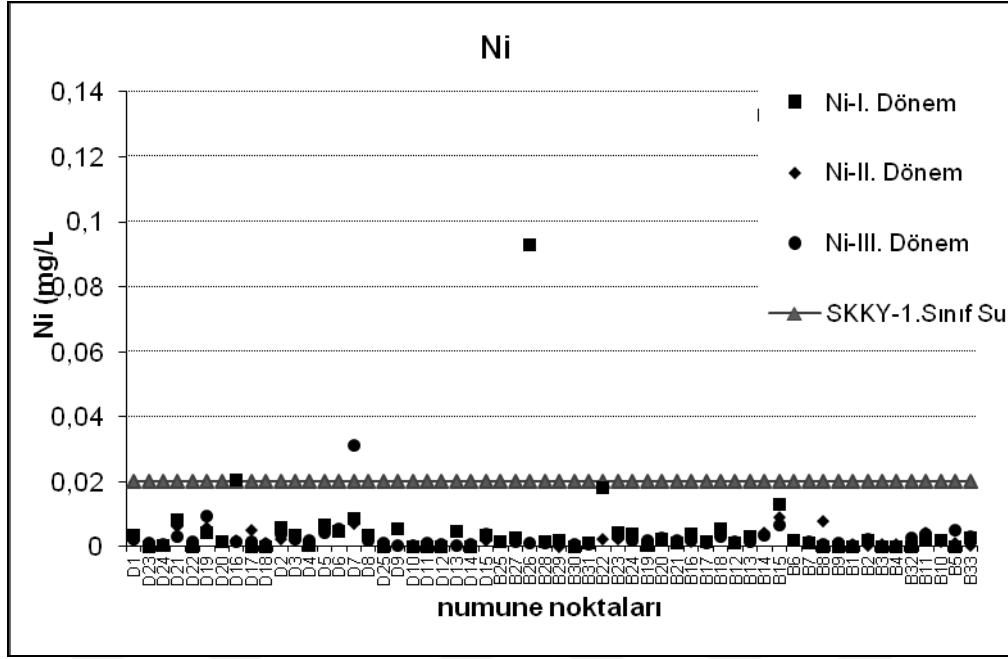
Şekil 4.15. Göksu deltası yeraltı suyu Bakır iyonu değişimi .

Göksu deltası yeraltı suyundan alınan numunelerde bakır değerleri, 1.dönem 0 ile 0,003 mg/L, 2.dönem 0 ile 0,0002 mg/L, 3.dönem 0 ile 0,0016 arasında değişmektedir. Bakır değerleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) 1.sınıf su sınır değeri olan 0,02 mg/L ve EPA standardı 1,3 mg/L göre karşılaştırıldığında, kuyu sularının üç dönemde de standartları aşmadığı tespit edilmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.16. Göksu deltası yeraltı suyu Krom iyonu değişimi.

Göksu deltası yer altı suyundan alınan numunelerde krom değerleri, 1.dönem 0 ile 0,004 mg/L, 2.dönem 0 ile 0,0055 mg/L, 3.dönem 0 ile 0,007 mg/L arasında değişmektedir. Krom değerleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) 1.sınıf su sınır değeri olan 0,02 mg/L ye ve EPA standardı 0,1 mg/L'ye göre karşılaştırıldığında üç dönemde de sınır değeri aşan kuyulara rastlanmadığı tespit edilmiştir. (Şekil 4.16).



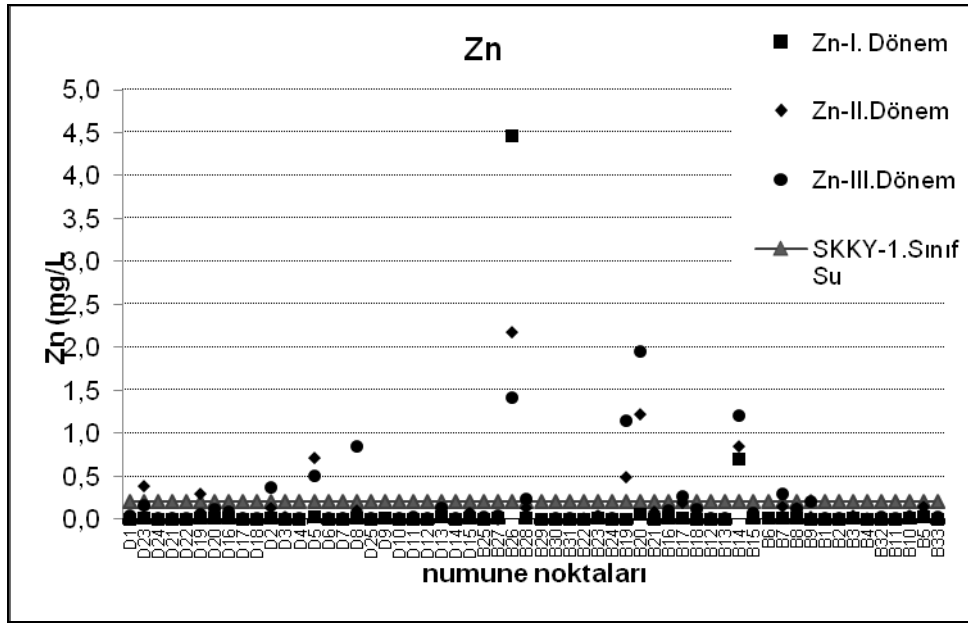
Şekil 4.17. Göksu deltası yeraltı suyu Nikel iyonu değişimi.

Göksu deltası yeraltı suyundan alınan numunelerde nikel değerleri, 1.dönem 0 ile 0,1328 mg/L, 2.dönem 0,0002 ile 0,0092 mg/L, 3.dönem 0,0005 ile 0,03 mg/L arasında değişmektedir. Nikel değerleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) 1.sınıf su sınır değeri olan 0,02 mg/L ye göre karşılaştırıldığında; 1 dönemde 3 adet kuyunun (D16, B26, B14) ve 3.dönemde 1 adet kuyu (D7) SKKY sınır değerini aştığı tespit edilmiştir. (Şekil 4.17).

Çinko kimyasal gübrelerde ve tarımsal ilaçlarda bulunur. Çinko besin elementinin tüm canlılar için gerekli olduğu yüz yılı aşkın bir süreden beri bilinmektedir. Çinko besin elementi bitkilerin büyümeleri, gelişmeleri ve dolayısı ile sağladıkları ürün miktarları üzerinde etkili olmaktadır. Çinkonun bitkiler tarafından alınabilmesi üzerine pek çok faktör etkili olmaktadır. Bu faktörler arasında toprağın sıcaklığını, toprağın asitli veya alkali oluşunu, topraktaki kireç miktarını, topraktaki fosfor miktarını, topraktaki organik madde miktarlarını sayabiliriz. Çinko besin elementi yukarıda belirtilen toprak organik maddeleri ile karşılıklı etkileşimde bulunarak bazen çözünebilir bazen de çözünemeyen bileşikler oluşturmaktadır. Genelde toprakta %60 oranında çözünebilir (çinkosu

serbest bırakılabilen) bileşikler meydana gelmektedir. Bu da çinkonun topraktan yeraltı suyuna geçişini açıklamaktadır [Bradl, 2005].

Topraklarımızda Avustralya’da olduğu gibi oldukça önemli düzeyde çinko eksikliği mevcuttur. Bu da ülkemizde çinko içeren gübrelerin kullanımını artırmaktadır.



Şekil 4.18. Göksu deltası yeraltı suyu Çinko iyonu değişimi.

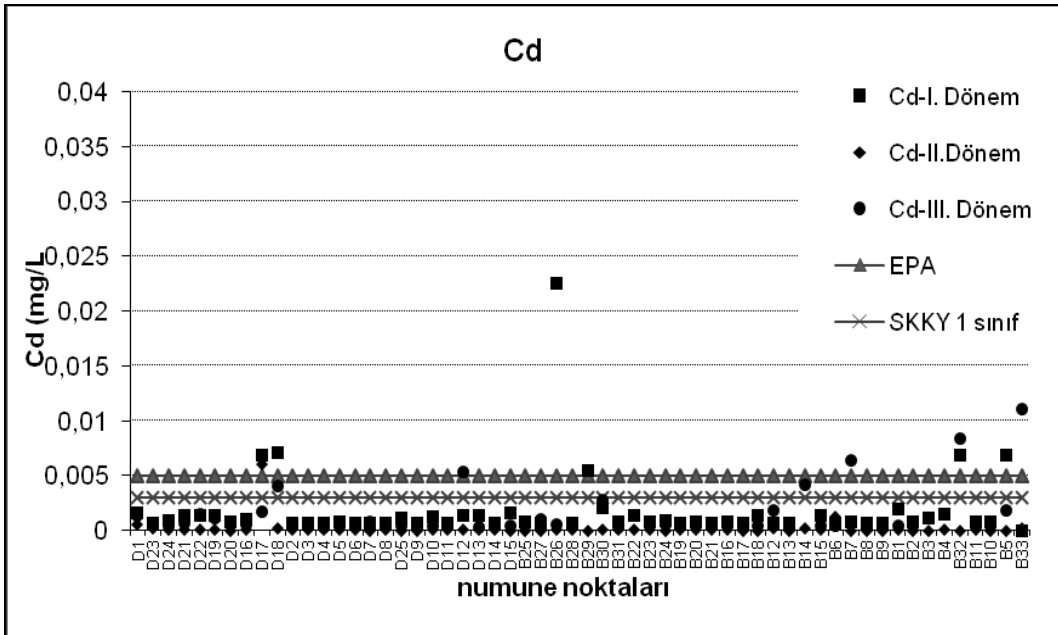
Göksu deltası yeraltı suyundan alınan numunelerde çinko değerleri, 1.dönem 0 ile 4,46 mg/L, 2.dönem 0,0002 ile 2,17 mg/L, 3.dönem 0,0017 ile 1,949 mg/L arasında değişmektedir. Çinko değerleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) 1.sınıf su sınır değeri olan 0,2 mg/L ye göre karşılaştırıldığında; 1.dönemde 3 adet kuyu (B26, B14, D16), 2.dönemde 7 adet kuyunun (B14, B26, B19, B20, D23, D19, D5), 3.dönemde 10 adet kuyu (D2, D5, D8, B28, B26, B19, B20, B14, B7, B17) SKKY sınır değerini aştığı tespit edilmiştir (Şekil 4.18).

Ağır metallere biri olan kadmiyum, tarım topraklarında bulunması ana materyal kaynaklı olabileceği gibi endüstriyel faaliyetler, fosforlu gübreler,

atıksular ve atmosferik depozitler gibi insan faaliyetleri sonucunda da olabilmektedir [Assche ve Clijsters, 1990].

Kadmiyum toprakta hareketli bir element olup bitkiler tarafından kolaylıkla alınabilmektedir. Bitkiler tarafından alınması sonucunda besin zincirine girmesi ya da topraktan yıkanarak su ortamına ulaşma olasılığı önemli bir çevre sorunu yaratmaktadır. Bunun yanı sıra kadmiyum topraktaki şelatlayıcı ajanlarla topraktan aşağı taşınması hızlanır, yeraltı suyuna karışarak içme ve sulama sularında kirliliğe neden olmaktadır [Köleli ve Kantar, 2005].

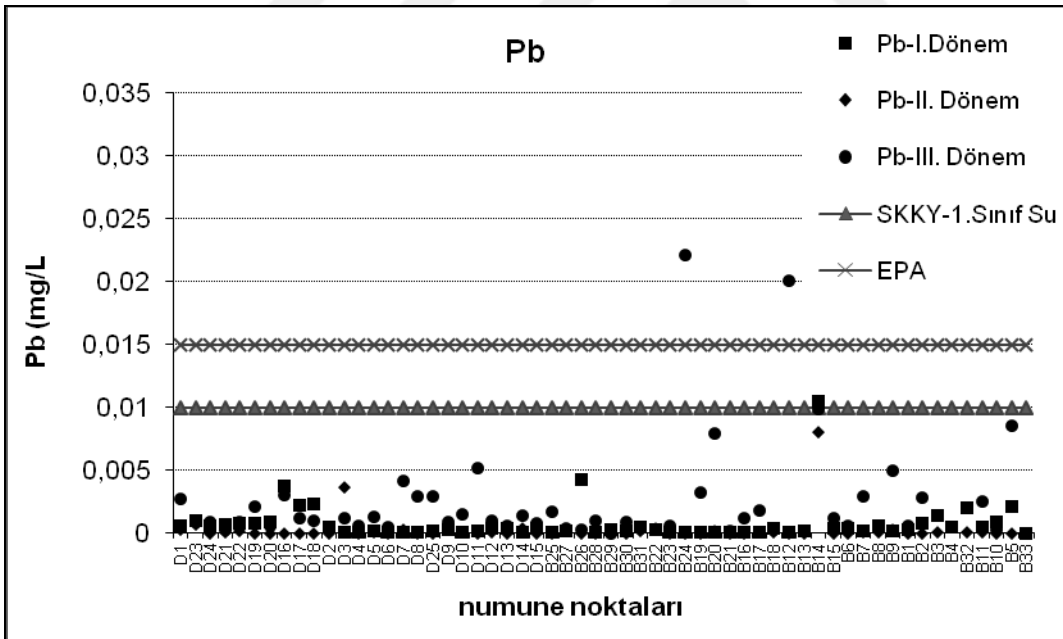
Ülkemizde fosforlu gübre üretimi yapan 6 fabrikada üretilen fosforlu gübrelerin ve üretimde kullanılan fosforik asit ve fosfat kayasının ağır metal içeriklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada fosfat kayasının (358 mg/kg) en yüksek kadmiyum içeriğine sahip olduğu; fosforik asidin 95-128 mg/l Cd içerdiği ve kompoze gübrelerin %87'sinde 8 mg/kg olduğu saptanmıştır [Köleli ve Kantar, 2005].



Şekil 4.19. Göksu deltası yeraltı suyu Kadmiyum iyonu değişimi.

Göksu deltası yeraltı suyundan alınan numunelerde kadmiyum değerleri, 1.dönem 0 ile 0,0338 mg/L, 2.dönem 0 ile 0,0061 mg/L, 3.dönem 0,0003 ile 0,011 mg/L arasında değişmektedir. Kadmiyum değerleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) 1.sınıf su sınır değeri olan 0,003 mg/L ve EPA 0,005 mg/L ye göre karşılaştırıldığında; 1.dönemde 6 adet kuyu (D17, D18, B26, B29, B5, B32), 2.dönemde 1 adet kuyunun (D17) , 3.dönemde 3 adet kuyu (B7, B33, B32) EPA sınır değerini aştığı tespit edilmiştir. (Şekil 4.19).

Kurşun 5000 yıldan fazladır insanoğlu tarafından kullanılmaktadır. Kurşun en yaygın olarak endüstride kullanılmakla birlikte (Akü imali, kablo izolasyonu, mühimmat, alaşımlar, kimyasal maddeler ve pigmentler, benzin katkısı), tarımsal ilaçlarda da bulunur [Bradl, 2005].



Şekil 4.20. Göksu deltası yeraltı suyu Kurşun iyonu değişimi.

Göksu deltası yeraltı suyundan alınan numunelerde kurşun değerleri, 1.dönem 0 ile 0,0105 mg/L, 2.dönem 0 ile 0,0081 mg/L, 3.dönem 0,002 ile 0,028 mg/L arasında değişmektedir. Kurşun değerleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği

(SKKY) 1.sınıf su sınır değeri olan 0,01 mg/L ye göre karşılaştırıldığında; 2. dönemde 1 adet kuyu (B14), 3.dönemde 4 adet kuyu (B24, B12, B32, B33) sınır değerini aştığı tespit edilmiştir (Şekil 4.20).

Göksu deltası topraklarında yapılan araştırmalarda toprakların organik madde içeriğinin çok düşük olduğu ortaya konulmuştur [Göksu Deltası Yönetim Planı, 2009]. Ağır metaller, topraktaki organik maddelerin fonksiyonel gruplarına bağlanarak toprakta tutunurlar. Organik maddenin azlığına bağlı olarak Göksu deltası topraklarında ağır metallerin toprakta tutunması pek mümkün olmayacaktır. Böylece, kış mevsiminde alınan 1.dönem örneklerinde ki ağır metaller, yaz ve ilkbahar aylarında toprakta biriken ağır metallerin yağmur suyu ile toprakta yıkanarak yeraltına geçmesinden kaynaklanmaktadır.

Leung ve Jiao nun yoğun kentleşmenin olduğu, Hong-Kong da yaptıkları çalışmada, kıyı şeridinden, farklı mevsimlerde, yağmur ve yeraltı suyu örnekleri almışlar, ve bu örneklerinin iz element ve ağır metal içeriklerini araştırmışlardır. Yağmur ve yeraltı suyu örneklerinde Zn, Cr, Cu, Cd, Pb ,Fe, iyonları analiz edilmiş ve önemli bir kirlilik tespit edilmemişken, Mn, V, Co ve Mo iyonlarının yüksek olduğu bulunmuştur. Mevsimsel değişimi incelendiğinde ise, yağmurlu dönemde kuru döneme göre ağır metal ve iz element konsantrasyonları yüksek çıktığını tespit etmişlerdir [Leung vd.,2006].

Wong ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada Çin'nin Pearl River Deltası doğal topraklarında yetiştirilen ürün (çeltik) ve toprağın ağır metal konsantrasyonu araştırmışlardır. Doğal toprak ve çeltikte Cd ve Pb konsantrasyonu fazla olduğunu ,çeltik tarımı yapılan topraklarda , yeraltına sızma (infiltrasyon) daha fazla olduğundan bu topraklarda ağır metal içerikleri diğer toprak örneklerine göre daha az olduğunu tespit etmişlerdir. Toprak da Pb, Zn ve Cu iyonlarının bağlı bulunduğu bölümler araştırıldığında, Pb yaygın olarak Fe-Mn oksitlere bağlı iken

Zn kalıntı fazında, Cu'nun önemli bir kısmı organik / sülfidlere bağlı ve artık fazlarda tespit etmişlerdir [Wong vd.,2002].

Romic ve arkadaşları Hırvatistan'ın başkenti Zagreb tarım topraklarında bazı ağır metallerin (Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn) kirlilik kaynağının antropojenik mi, alanın allüvyonal birikimlerinden oluşan sedimenter kayalardan mı olduğunu araştırmışlardır. Cd, Cu, Pb ve özellikle Zn elementlerinin antropojenik kaynaklı (tarımsal faaliyetler) olduğunu, Fe, Mn ve Ni elementlerinde alanın jeolojik yapısından kaynaklandığını, yaptıkları istatistiksel çalışmalar ile ortaya koymuşlardır [Romic ve Romic, 2003].

Köleli ve Demir'in, Göksu Deltası tarım topraklarında, tarımsal kaynaklı ağır metal kirliliğini (As, Cd, Pb, Cr) araştırdıkları çalışmada, sonuçlar delta da tarımsal aktivitelerde bilinçsiz ve aşırı kullanılan gübre ve pestisitler ile toprakların müsedilen sınır değerleri aştığını tespit etmişlerdir [Köleli ve Demir, 2008].

Kuyu sularında üç dönem ağır metal sonuçları incelendiğinde, tüm metallerin maksimum konsantrasyona 1.dönemde ulaşmış, 3.döneme doğru konsantrasyonun azaldığı tespit edilmiştir. Deltada kullanılan kimyasal ve gübrelerin aylara göre dağılımı incelendiğinde, yaz aylarından başlayarak sonbahara yoğun olarak gübre ve tarımsal ilaç kullanıldığı görülmektedir (Çizelge 3.11-3.17).

4.2.3. Yüzey ve Yeraltı Suyu Kirletici Parametre Analiz Sonuçları

4.2.3.1 Yeraltı suyu kirletici parametre sonuçları

Deltadan 3 dönemde de alınan yeraltı suyu numunelerinde yapılan kirletici parametrelerinin sonuçları Çizelgede 4.7, 4.8 ve 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.7. Yeraltı suyu kirletici parametre analiz sonuçları (1.dönem) (mg/L).

Kuyu No	X(m)	Y (m)	Z (m)	pH	T(°C)	EC (us/cm)	Sal	Amonyak-N	Nitrit-N	Nitrat-N	Fosfat
D1	592406	4026594	5	7.29	18.2	1217	0.4	0,01	0	1,7	0.69
D23	592989	4025745	0	7.71	17.8	1002	0.3	0,03	0	0,7	0.01
D24	593386	4025543	0	8.05	17.7	965	0.2	0,03	0	1,1	2.48
D21	592489	4025404	0	7.42	19.4	1404	0.5	0,16	0	0	0.15
D22	594520	4025031	1	8.22	18.4	1531	0.6	0,1	0	0	0.14
D19	593802	4024781	0	7.45	19	1036	0.3	0,15	0	0,2	0.25
D20	594678	4023706	2	7.62	19	764	0.2	0,6	0	1,8	0.2
D16	594747	4023202	4	7.6	16.5	732	0.1	1,01	0,01	0,7	0.16
D17	595143	4021795	2	7.54	21.7	5240	2.8	0,43	0	0	1.5
D18	594886	4021189	4	7.82	21.5	2930	1.4	10,4	0,04	0	0.07
D2	590388	4026206	9	7.47	18.6	862	0.2	0,02	0	9,7	0.54
D3	590609	4025492	2	7.45	19.9	875	0.2	0,07	0	2,6	0.08
D4	590497	4025318	3	7.72	15.1	803	0.1	0	0	1,8	0.15
D5	590491	4024971	5	7.38	18.9	867	0.2	0,02	0	0,3	0.58
D6	590322	4024846	1	7.24	17.4	934	0.2	0,01	0	0,6	1.04
D7	590673	4024834	4	7.31	19	920	0.2	0,01	0	2,5	0.69
D8	591558	4025514	2	7.69	19.2	696	0.1	0	0	27	0.77
D25	591541	4024899	0	8.33	16	858	0.2	0	0	1	0.41
D9	591302	4024513	2	7.4	19	987	0.3	0,1	0	7,3	0.21
D10	591099	4024275	10	8	17	459	0	0,02	0	22,5	0.35
D11	593157	4024143	3	8.34	16.4	910	0.2	0,69	0	2,3	0.14
D12	595691	4020440	2	8.26	18.9	1418	0.5	0,02	0	0	0.25
D13	592550	4024433	2	7.53	17.7	1159	0.4	0,08	0	0	0.01

Çizelge 4.7 devamı. Yeraltı suyu kirletici parametre analiz sonuçları (1.dönem)
(mg/L).

D14	592854	4024064	2	8.26	16.9	902	0.2	0	0	3	0.17
D15	594877	4023102	0	7.51	20.9	1225	0.4	1,1	0,01	15,27	0.05
B25	583035	4022250	3	7.25	19.8	741	0.1	0,02	0	2,6	0.08
B27	582722	4021731	7	7.34	20.1	771	0.1	0,02	0	7,3	0
B26	583202	4020853	3	7.43	19.4	1111	0.3	0,02	0	4,2	0
B28	584132	4020914	1	8.06	19	491	0	0,01	0	0,5	0
B29	584288	4020022	0	7.66	19.3	1470	0.3	0,01	0	0,1	0.2
B30	584335	4019690	0	8.18	18.4	1165	0.4	0,01	0	2,1	0.07
B31	583989	4021969	0	7.53	18	593	0	0	0	1,2	0
B22	584284	4022904	9	7.13	18.4	1193	0.4	0,01	0	3,6	0.01
B23	584146	4023534	11	7.26	20	918	0.2	0	0	10,1	0.12
B24	584158	4023538	6	7.04	19	896	0.2	0	0	16,9	0.27
B19	585750	4024951	6	7.8	19	628	0.1	0	0	0,2	0
B20	586145	4023298	8	7.35	20.3	626	0.1	0,01	0	0,4	0
B21	587446	4024870	4	7.55	19	691	0.1	0	0	0,7	0
B16	587906	4024571	5	7.84	19.4	558	0.1	0,13	0	0	0
B17	588255	4024406	0	7.57	19.4	584	0	0,02	0	3,4	0.16
B18	588660	4024168	5	7.09	18.7	1114	0.3	0,05	0	0,4	0
B12	589230	4023852	0	7.63	18.2	521	0	0,01	0	1	0
B13	589248	4023875	6	7.51	19.2	756	0.1	0,02	0	1	0.21
B14	589581	4023932	1	7.37	17.3	1086	0.3	0,01	0	4,2	0.16
B15	589523	4023823	4	7.2	18.6	1030	0.3	0,01	0	4,8	0
B6	589949	4023412	0	7.56	19.9	863	0.2	0,28	0	1,9	0.44
B7	590687	4023003	7	7.74	18.4	667	0.1	0,2	0	0	0.09
B8	590686	4023003	7	8.09	16.3	474	0	0	0	2,9	0.11
B9	590724	4022283	0	8.12	18.3	843	0.2	0,25	0	0	0.03
B1	590524	4021708	0	8.3	18.2	1022	0.3	1,23	0,02	2,1	1.2
B2	590090	4021444	0	8.47	20.2	797	0.2	0,57	0	0,5	0.11
B3	590091	4021444	0	8.2	16.6	601	0	0,2	0	24,1	0
B4	590169	4021053	0	7.89	19.8	1298	0.4	0,16	0	24,4	0

Çizelge 4.7 devamı. Yeraltı suyu kirletici parametre analiz sonuçları (1.dönem) (mg/L).

B32	589954	4018501	0	8.07	20.1	2870	1.4	0,02	0	0,4	0.08
B11	589569	4023617	16	7.49	20.1	880	0.2	0	0	2,7	0.07
B10	590359	4022596	13	7.55	20.2	843	0.2	0,23	0	2,1	0.6
B5	590049	4021586	0	7.98	20.9	2070	0.9	1,15	0,01	1,9	0.11
B33	588862	4017367	0	8.17	20.8	4230	2.2	0,03	0	0	0.19

Çizelge 4.8. Yeraltı suyu kirletici parametre analiz sonuçları (2.dönem) (mg/L)

Kuyu No	X(m)	Y (m)	Z (m)	pH	T(°C)	EC (us/cm)	Sal	Amonyak -N	Nitrit-N	Nitrat-N	Fosfat
D1	592406	4026594	5	7,28	18,1	1083	0,3	0,00	0,00	0,90	0,50
D23	592989	4025745	0	7,43	20,3	944	0,2	0,10	0,00	0,40	0,00
D24	593386	4025543	0	7,63	20,7	892	0,2	0,00	0,00	0,89	4,50
D21	592489	4025404	0	7,26	22,1	1372	0,5	0,10	0,00	0,00	0,00
D22	594520	4025031	1	7,95	22	1303	0,4	0,00	0,00	0,00	0,00
D19	593802	4024781	0	7,25	23	1065	0,3	0,70	0,00	0,12	0,60
D20	594678	4023706	2	7,46	20,4	763	0,1	0,50	0,00	2,00	0,40
D16	594747	4023202	4	7,53	20,3	663	0,1	0,10	0,00	0,50	0,00
D17	595143	4021795	2	7,3	22,1	5600	3	0,40	0,00	0,00	3,20
D18	594886	4021189	4	7,74	21,1	2800	1,3	3,20	0,01	0,50	0,00
D2	590388	4026206	9	7,2	20,8	892	0,2	0,00	0,00	3,00	0,00
D3	590609	4025492	2	7,2	22,7	893	0,2	0,00	0,00	1,92	0,50
D4	590497	4025318	3	7,5	20	674	0,1	0,00	0,00	1,20	0,60
D5	590491	4024971	5	7,2	21,5	839	0,2	0,00	0,00	0,50	0,76
D6	590322	4024846	1	7,39	20,6	859	0,2	0,00	0,00	0,20	6,40
D7	590673	4024834	4	7,16	21,2	991	0,3	0,00	0,00	1,62	4,78
D8	591558	4025514	2	7,65	23,8	527	0	0,00	0,00	18,00	1,03
D25	591541	4024899	0	8,2	17,8	870	0,2	0,00	0,00	3,00	0,23
D9	591302	4024513	2	8,26	19,3	471	0	0,00	0,00	5,32	0,13

Çizelge 4.8 devamı. Yeraltı suyu kirlenici parametre analiz sonuçları (2.dönem)
(mg/L)

D10	591099	4024275	10	8	19,6	451	0	0,00	0,00	19,80	0,00
D11	593157	4024143	3	8,27	20,7	913	0,2	0,30	0,00	1,34	0,00
D12	595691	4020440	2	8,23	21,7	1490	0,5	0,00	0,00	0,00	0,00
D13	592550	4024433	2	8,14	20,6	935	0,2	0,00	0,00	0,04	0,00
D14	592854	4024064	2	8,21	18,5	872	0,2	0,00	0,01	2,86	0,00
D15	594877	4023102	0	7,5	20,7	1019	0,3	0,50	0,00	5,70	0,30
B25	583035	4022250	3	7,36	16,4	744	0,1	0,00	0,00	1,32	0,50
B27	582722	4021731	7	7,33	17,4	745	0,1	0,00	0,00	4,10	0,43
B26	583202	4020853	3	7,44	18,1	673	0,1	0,00	0,00	2,15	0,23
B28	584132	4020914	1	8,23	19,3	471	0	0,00	0,00	0,00	0,00
B29	584288	4020022	0	8,01	19	451	0	0,00	0,00	0,00	0,53
B30	584335	4019690	0	8,51	19,6	1130	0,3	0,00	0,00	0,00	0,05
B31	583989	4021969	0	7,68	19,4	549	0	0,00	0,00	0,30	0,00
B22	584284	4022904	9	7,48	20,2	660	0,1	0,00	0,00	2,01	0,01
B23	584146	4023534	11	7,34	21	749	0,1	0,00	0,01	3,40	0,02
B24	584158	4023538	6	7,04	19,5	787	0,1	0,00	0,00	9,30	0,06
B19	585750	4024951	6	7,81	18,9	651	0,2	0,00	0,00	0,30	0,00
B20	586145	4023298	8	7,48	16,7	679	0,1	0,00	0,00	0,70	0,00
B21	587446	4024870	4	7,61	17,6	673	0,1	0,00	0,00	0,60	0,00
B16	587906	4024571	5	7,95	21	555	0	0,00	0,00	0,00	0,32
B17	588255	4024406	0	7,2	17,6	541	0	0,00	0,00	0,40	0,01
B18	588660	4024168	5	7,41	16	837	0,2	0,00	0,00	0,45	0,00
B12	589230	4023852	0	7,81	18,2	532	0	0,01	0,00	1,20	0,00
B13	589248	4023875	6	7,73	20,7	681	0,1	0,02	0,00	0,80	0,00
B14	589581	4023932	1	7,41	19,7	846	0,2	0,01	0,00	2,34	0,00
B15	589523	4023823	4	7,32	20,8	777	0,1	0,01	0,00	2,04	0,00
B6	589949	4023412	0	7,58	17,3	854	0,2	0,10	0,00	2,30	1,34
B7	590687	4023003	7	8,01	20	673	0,1	0,20	0,00	3,10	1,23

Çizelge 4.8 devamı. Yeraltı suyu kirletici parametre analiz sonuçları (2.dönem)
(mg/L)

B8	590686	4023003	7	8,15	16,3	672	0,1	0,10	0,00	2,01	1,09
B9	590724	4022283	0	8,09	21,2	882	0,2	0,40	0,00	0,92	1,54
B1	590524	4021708	0	8,32	20,9	1001	0,3	1,01	0,03	3,10	3,20
B2	590090	4021444	0	8,73	21	770	0,1	0,43	0,00	1,90	2,43
B3	590091	4021444	0	8,14	18	867	0,2	0,12	0,00	12,22	1,30
B4	590169	4021053	0	7,96	20,1	1262	0,4	0,10	0,00	10,90	0,98
B32	589954	4018501	0	8,35	21,2	2860	1,4	0,01	0,00	0,30	0,56
B11	589569	4023617	16	7,67	18,7	751	0,1	0,01	0,00	1,80	0,05
B10	590359	4022596	13	7,9	20,1	736	0,1	0,10	0,00	4,20	0,10
B5	590049	4021586	0	7,3	20,3	2140	0,9	0,92	0,01	0,80	0,20
B33	588862	4017367	0	8,08	21,3	3890	2	0,00	0,00	0,00	0,23

Çizelge 4.9. Yeraltı suyu kirletici parametre analiz sonuçları (3.dönem) (mg/L).

Kuyu No	X(m)	Y (m)	Z (m)	pH	T(°C)	EC (us/cm)	Sal	Amonyak -N	Nitrit-N	Nitrat-N	Fosfat
D1	592406	4026594	5	7.23	23.6	1228	0.4	0.03	0.02	1.4	0.4
D23	592989	4025745	0	7.53	23	1005	0.3	0.06	0.01	0.6	0.01
D24	593386	4025543	0	7.83	23	943	0.2	0.01	0.01	0.72	4
D21	592489	4025404	0	7.53	22.7	1393	0.5	0	0.03	0	0
D22	594520	4025031	1	7.74	22	1547	0.6	0	0.03	0.01	0
D19	593802	4024781	0	7.25	23.6	1055	0.3	0.09	0.03	1.9	0.52
D20	594678	4023706	2	7.44	24.6	839	0.2	0.14	0.01	0.1	0.32
D16	594747	4023202	4	7.42	26	773	0.1	0.89	0	0.5	0.01
D17	595143	4021795	2	7.45	23.9	5830	3.2	2.52	0.01	0	3.8

Çizelge 4.9 devamı. Yeraltı suyu kirlenici parametre analiz sonuçları (3.dönem) (mg/L).

D18	594886	4021189	4	7.75	22.9	2970	1.4	5.29	0.01	0	0
D2	590388	4026206	9	7.43	20.3	877	0.2	0.03	0.01	3.3	0.01
D3	590609	4025492	2	7.38	25.4	831	0.2	0.03	0	1.42	0.3
D4	590497	4025318	3	7.47	27.7	765	0.1	0.02	0.01	1.7	0.49
D5	590491	4024971	5	7.3	24.3	913	0.2	0.02	0.01	2.4	0.62
D6	590322	4024846	1	7.22	28.2	993	0.3	0.03	0	2.9	2
D7	590673	4024834	4	7.21	25.5	888	0.2	0.27	0.01	1.39	5.9
D8	591558	4025514	2	7.55	29.8	570	0	0.33	0.01	10.4	0.9
D25	591541	4024899	0	8.14	25.6	933	0.2	0.27	0.02	9	0.3
D9	591302	4024513	2	7.88	21.5	552	0	0.32	0.02	5.9	0.15
D10	591099	4024275	10	8.3	21.1	483	0	0.32	0.01	10.4	0
D11	593157	4024143	3	8.05	25.2	1007	0.3	0.17	0.02	0.12	0
D12	595691	4020440	2	8.1	25.5	1587	0.6	0.02	0	0	0
D13	592550	4024433	2	8.13	27.2	1045	0.3	0.02	0	0	0
D14	592854	4024064	2	8.2	26.7	930	0.2	0.03	0	0.9	0.1
D15	594877	4023102	0	7.45	22.7	1306	0.5	0.98	0	6.2	0.5
B25	583035	4022250	3	7.14	25.4	796	0.2	0.03	0	4.9	0.18
B27	582722	4021731	7	7.15	25	790	0.1	0.02	0	9.7	0.2
B26	583202	4020853	3	7.16	24.2	736	0.1	0.03	0	1.9	0.12

Çizelge 4.9 devamı. Yeraltı suyu kirlenici parametre analiz sonuçları (3.dönem) (mg/L).

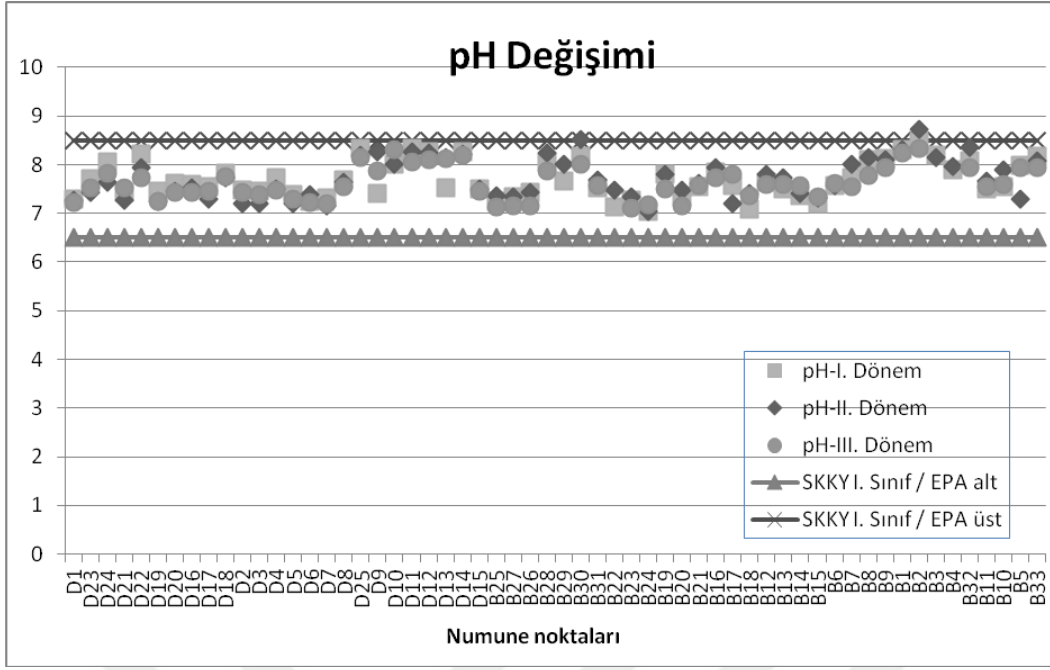
B28	584132	4020914	1	7.88	25.6	499	0	0.09	0	0.2	0.1
B30	584335	4019690	0	8	21.6	1193	0.4	0.04	0	1.8	0
B31	583989	4021969	0	7.56	21.8	661	0.1	0.02	0	0.6	0
B23	584146	4023534	11	7.1	27.9	938	0.2	0.2	0	16.1	1
B24	584158	4023538	6	7.18	24.2	827	0.2	0.02	0.01	5.2	0.6
B19	585750	4024951	6	7.5	27.9	946	0.2	0.04	0.01	0.5	0
B20	586145	4023298	8	7.16	25.8	772	0.1	0	0.02	0.54	0
B21	587446	4024870	4	7.57	28.7	793	0.2	0	0.02	0.5	0
B16	587906	4024571	5	7.73	21.9	551	0	0.53	0.02	0	0
B17	588255	4024406	0	7.8	23.5	612	0	0.33	0.01	0	0
B18	588660	4024168	5	7.37	26.5	915	0.2	0.2	0.02	0	0
B12	589230	4023852	0	7.6	27.4	555	0	0.33	0.02	0	0
B13	589248	4023875	6	7.59	26	694	0.1	0.09	0.02	0.5	0
B14	589581	4023932	1	7.56	26.5	867	0.2	0.32	0.02	0.9	0
B15	589523	4023823	4	7.35	23.8	827	0.2	0.02	0.01	1.2	0
B6	589949	4023412	0	7.62	23	914	0.2	0.04	0.01	0	0
B7	590687	4023003	7	7.54	23.5	733	0.1	0.04	0.01	0	0.8
B8	590686	4023003	7	7.77	24.9	488	0	0.02	0.01	2.8	0.6
B9	590724	4022283	0	7.94	23.8	892	0.2	0.04	0.02	0.3	0.83

Çizelge 4.9 devamı. Yeraltı suyu kirlenici parametre analiz sonuçları (3.dönem) (mg/L).

B1	590524	4021708	0	8.24	23.7	1052	0.3	0.15	0.01	1.4	2.1
B2	590090	4021444	0	8.34	23.9	822	0.2	2.41	0.04	1.1	1.02
B32	589954	4018501	0	7.94	23.1	3000	1.5	0.02	0.01	1	0.3
B11	589569	4023617	16	7.54	24.6	1097	0.3	0.01	0.04	1.62	0
B10	590359	4022596	13	7.6	22.6	865	0.2	0	0.02	2	0
B5	590049	4021586	0	7.94	27.2	1540	0.6	1.11	0.03	0.07	0
B33	588862	4017367	0	7.94	22.6	4100	2.1	0.09	0.03	0	0

Çizelgelerde 3 dönemde de yeraltı sularında; yerinde yapılan sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC), tuzluluk (sal), pH ve laboratuarda yapılan nitrit, nitrat, amonyum fosfat analiz sonuçları Microsoft Excel programı kullanılarak Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği [SKKY, 2004] I Sınıf Su sınır değerleri ve EPA [EPA, 2011] İçmesuyu standartları ile karşılaştırmak amacıyla grafiklere aktarılmıştır. Ayrıca, MapInfo 9.5 Coğrafi Bilgi Sistemi programı yardımıyla bir bilgi sistemi oluşturup, kirlenici parametrelerin mekân ve zaman olarak değişimini gösteren tematik haritalar yardımı ile değerlendirilmiştir.

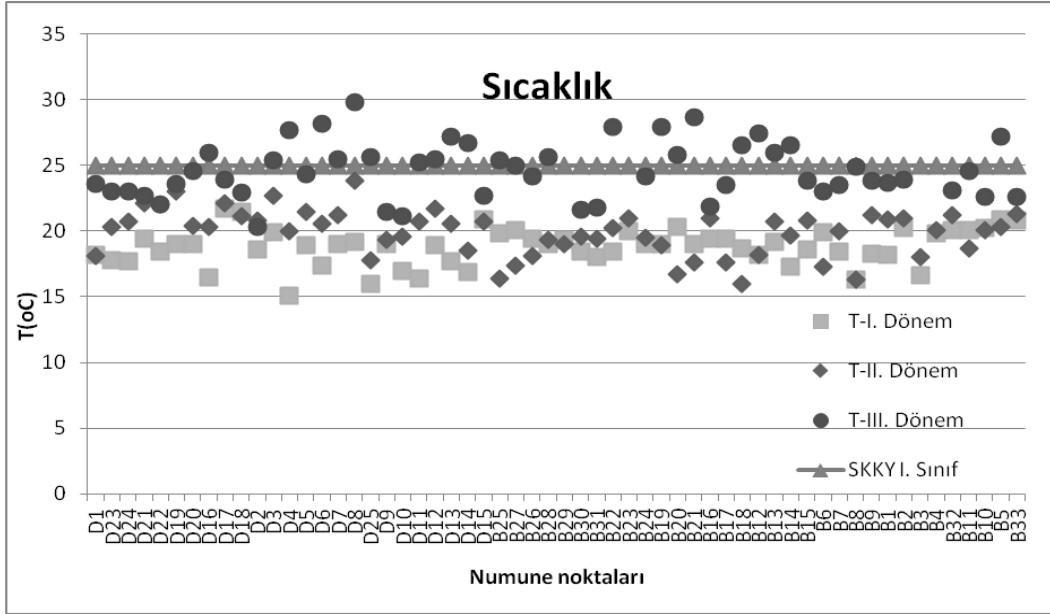
pH bir çözeltinin asit veya baz olma özelliğinin şiddetini gösteren bir terim olup çözeltide bulunan H^+ iyonu konsantrasyonunu ve daha kesin bir ifade ile hidrojen iyonu aktivitesini göstermektedir [Samsunlu, 1999]. Suyun pH'sındaki değişim suda bulunan diğer kimyasal parametrelerin davranışlarında değişikliklere sebep olur.



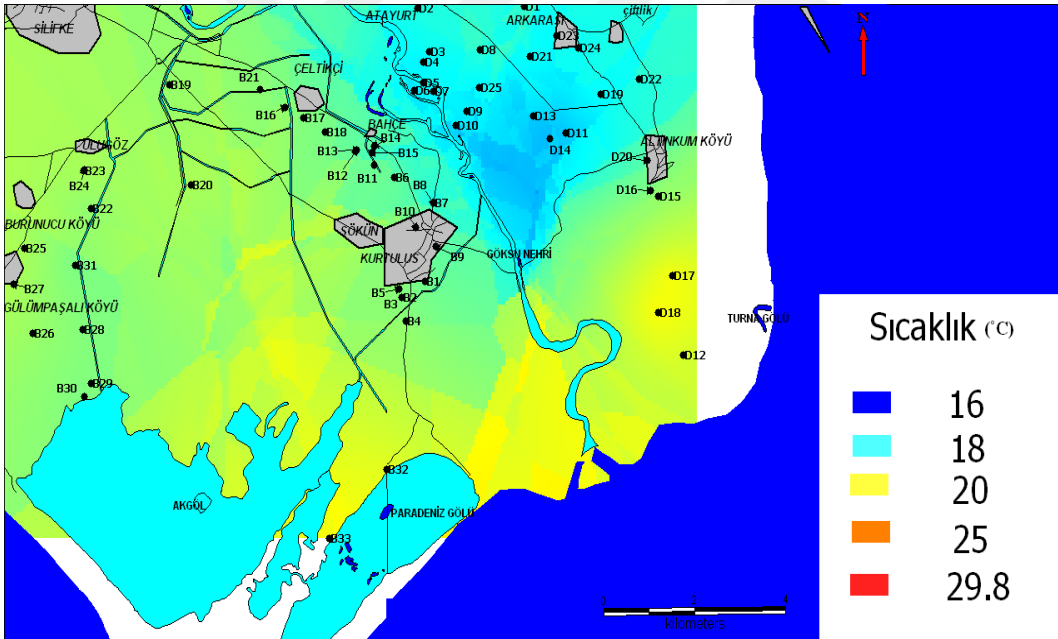
Şekil 4.21. Göksu Deltası yeraltı suyu pH değişimi.

Göksu deltası yeraltı sularından alınan numunelerde pH, 1.dönem 7,04 ile 8,47, 2.dönem 7,16 ile 8,47 , 3.dönem 7.10 ile 8.34 arasında değişmektedir. Analiz sonuçlarına göre bölgenin jeolojik yapısına paralel olarak, yeraltı sularının bazik özellikte olduğu ve SKKY-1.sınıf su ile EPA içme suyu standardında verilen 6,5-8,5 pH aralığını aşmadığı belirlenmiştir (Şekil 4.21).

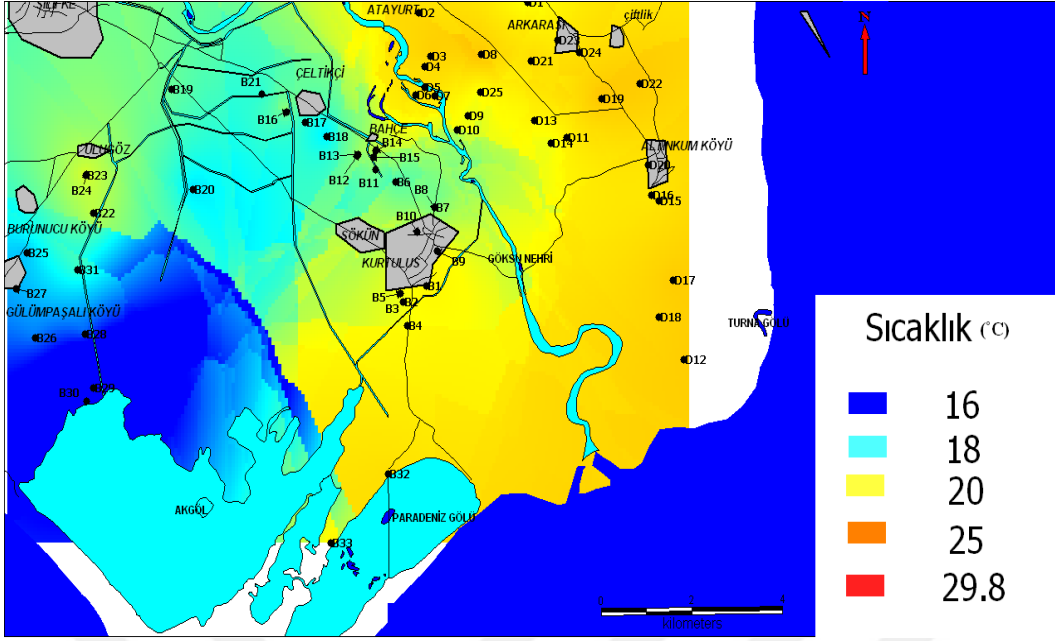
Sıcaklık değerleri değerlendirildiğinde ise Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo 1 de belirtilen I.sınıf su kalite sınırını 3.dönemde 23 adet kuyunun aştığı tespit edilmiştir. 1.dönemde 15,1 °C - 21,7 °C, 2.dönemde 16,3 - 23,8 °C, 3.dönemde 20,9°C -29,8 °C arasında değiştiği ortaya konulmuştur (Şekil 4.22, 4.23, 4.24, 4.25).



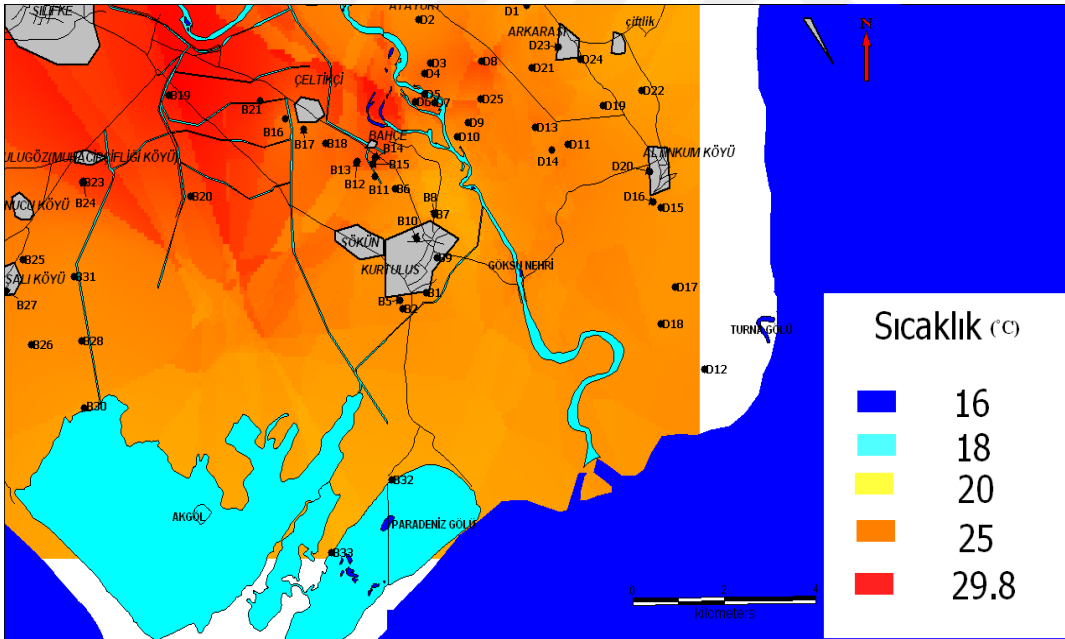
Şekil 4.22. Göksu Deltası yeraltı suyu Sıcaklık değişimi.



Şekil 4.23. Delta 1.dönem sıcaklık dağılım haritası .



Şekil 4.24. Delta 2.dönem sıcaklık dağılım haritası.



Şekil 4.25. Delta 3.dönem sıcaklık dağılım haritası.

Elektriksel iletkenliğin birimi μ Siemens/cm dir. Elektriksel iletkenlik sıcaklığa, su içindeki çözülmüş maddelere ve iz haldeki çözelti içeriklerine bağlı olarak değişebilir. Suyun elektriksel iletkenliğin düşük olması nedeni ile

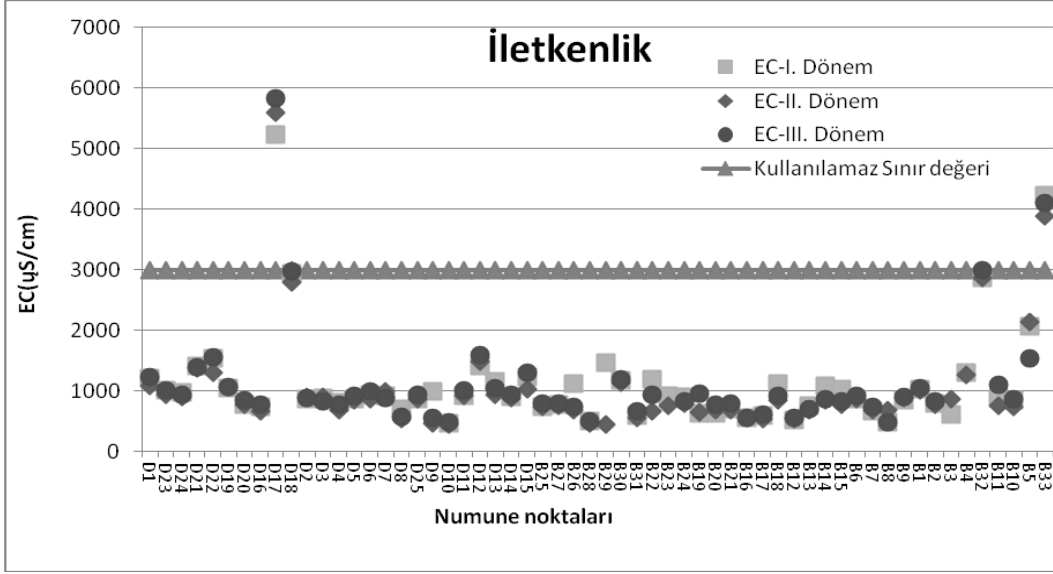
hidrojeokimyada microsiemens (μS) birimi kullanılır. Saf su $25\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta $4,2 \times 10^{-2} \mu\text{S/cm}$ elektriksel iletkenlik değerine sahiptir [WHO, 1993].

Çizelge 4.10. Suların özgül elektriksel iletkenliği esas alınarak yapılan sınıflandırma [Erguvanlı ve Yüzer, 1987].

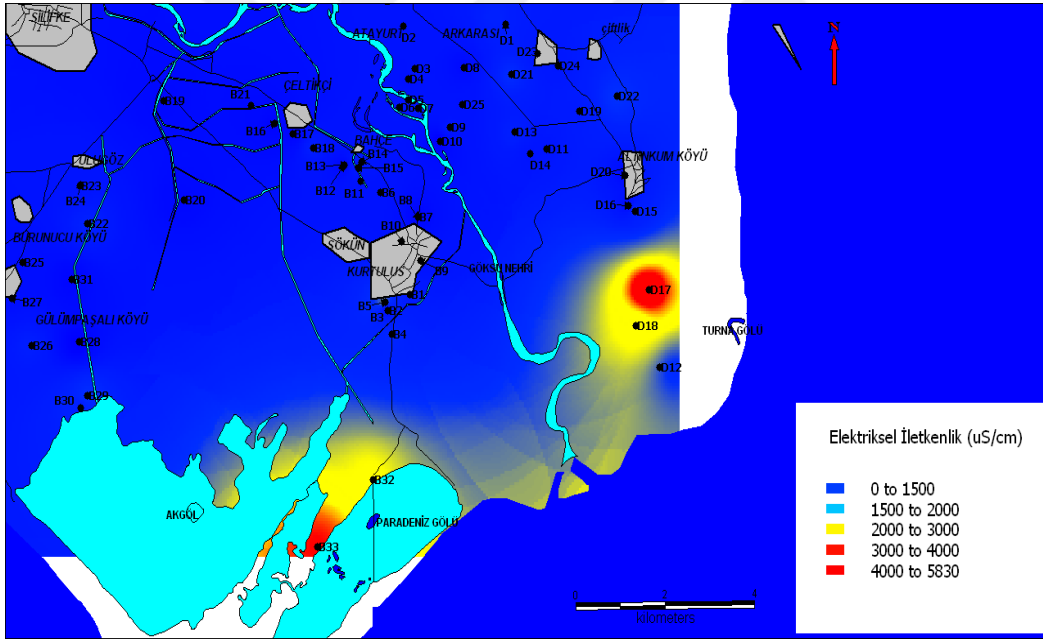
EC 25°C 'de $\mu\text{S/cm}$	Sınıf
250 den az	Çok iyi
250 – 750	Iyi
750- 2000	Kullanılabilir
2000 -3000	Şüpheli
3000 den fazla	Kullanılamaz

Göksu deltası yeraltı suyundan alınan numunelerde Elektriksel İletkenlik (EC) değeri, 1.dönem 459 ile 5.240 $\mu\text{S/cm}$, 2.dönem 451 ile 5.600 $\mu\text{S/cm}$, 3.dönem 483 ile 5.830 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmektedir.

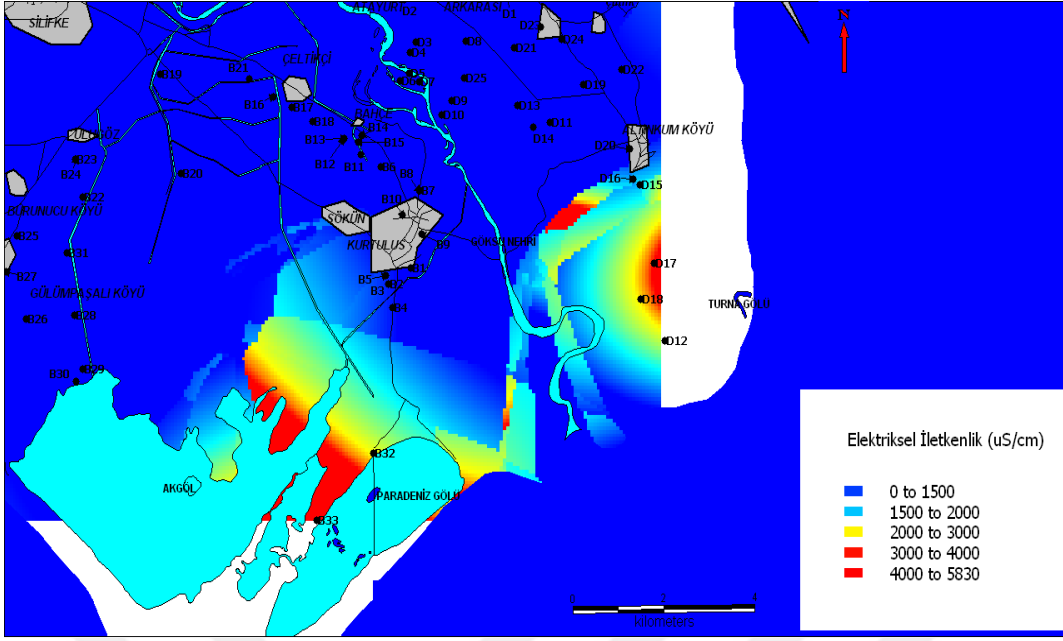
Elektriksel İletkenlik (EC) değerleri Çizelge 4.10'da *Kullanılamaz Sınıfı* sınır değeri olan 3000 $\mu\text{S/cm}$ 'e göre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye göre, 1.dönemde 2 kuyu (D17, B33) , 2.dönemde 2 kuyu (D17, B33), 3.dönemde 2 kuyu (D17, B33) sınır değeri aştığı her üç dönemde de D18 ve B32 nolu kuyularında sınır değere çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Sınırı aşan kuyuların EC değerleri yüksek olan Deniz ve Paradeniz gölü yakınlarında ki kuyular olduğu hazırlanan tematik haritalarla ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.26, 4.27, 4.28, 4.29).



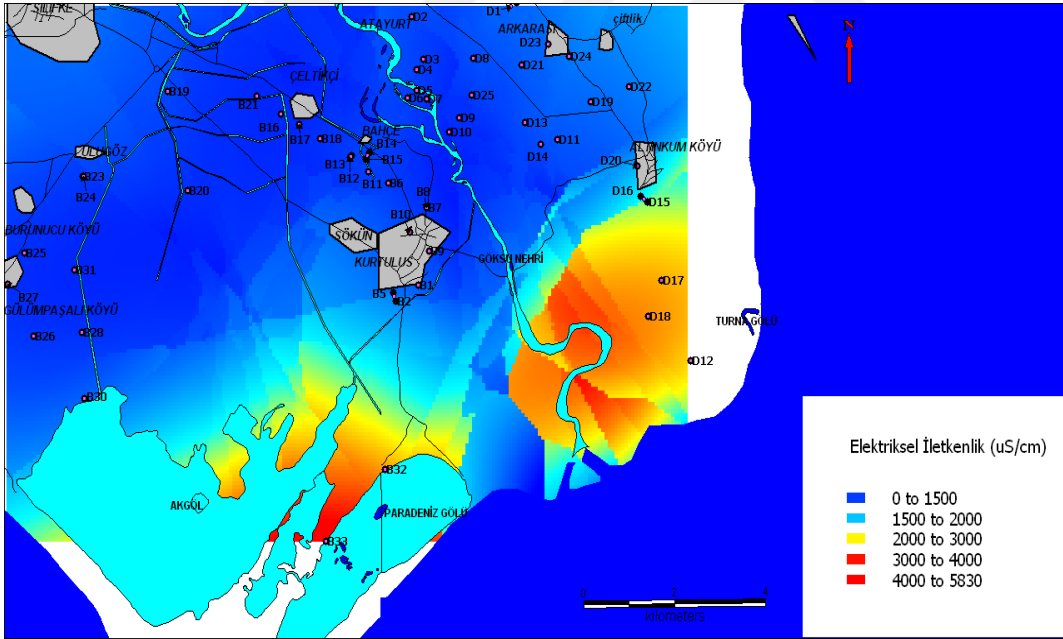
Şekil 4.26. Göksu Deltası yeraltı suyu Elektriksel İletkenlik değişimi.



Şekil 4.27. Delta 1.dönem elektriksel iletkenlik (EC) dağılım haritası.



Şekil 4.28. Delta 2.dönem elektriksel iletkenlik (EC) dağılım haritası.

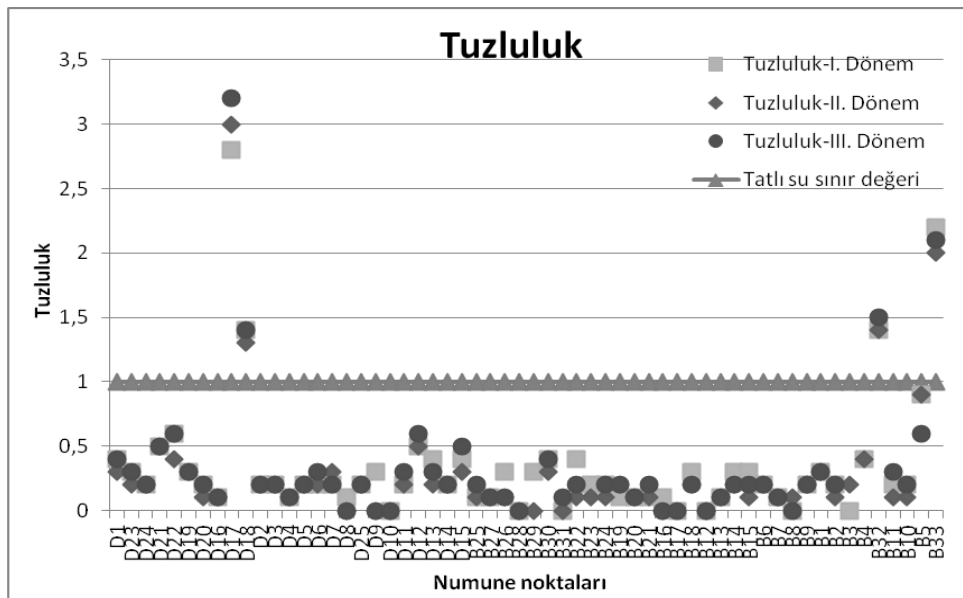


Şekil 4.29. Delta 3.dönem elektriksel iletkenlik (EC) dağılım haritası.

Tuzluluk deniz suyunun 1 kg'ında çözülmüş halde bulunan iyonların gram cinsinden ağırlığıdır. Tuzluluk, sularda veya topraklarda var olan çözülmüş mineral tuzların konsantrasyonundan ileri gelmektedir. Çözülmüş mineral tuzları, Na, Ca, Mg, ve K katyonlarını ve Cl, SO₄, HCO₃, CO₃ ve NO₃ anyonlarını içine alan başlıca çözünebilir maddeleri kapsamaktadır. Son derece yüksek tuzlulukta sularda B, Sr, Li, SiO₂, Rb, F, Mo, Mn, Ba ve Al mineral maddeleri de tuzluluğa katkı sağlamaktadır [Tanji, 1990].

Çizelge 4.11. Tuzluluğa göre suların sınıflandırılması [Uysal, 2002].

Tuzluluk Değeri 15 °C'de	Sınıf
<1,0	Tatlı Su
1,0 - 3,0	Hafif Tuzlu
3,0 -10,0	Orta Derecede Tuzlu
10,0 -35,0	Çok Tuzlu

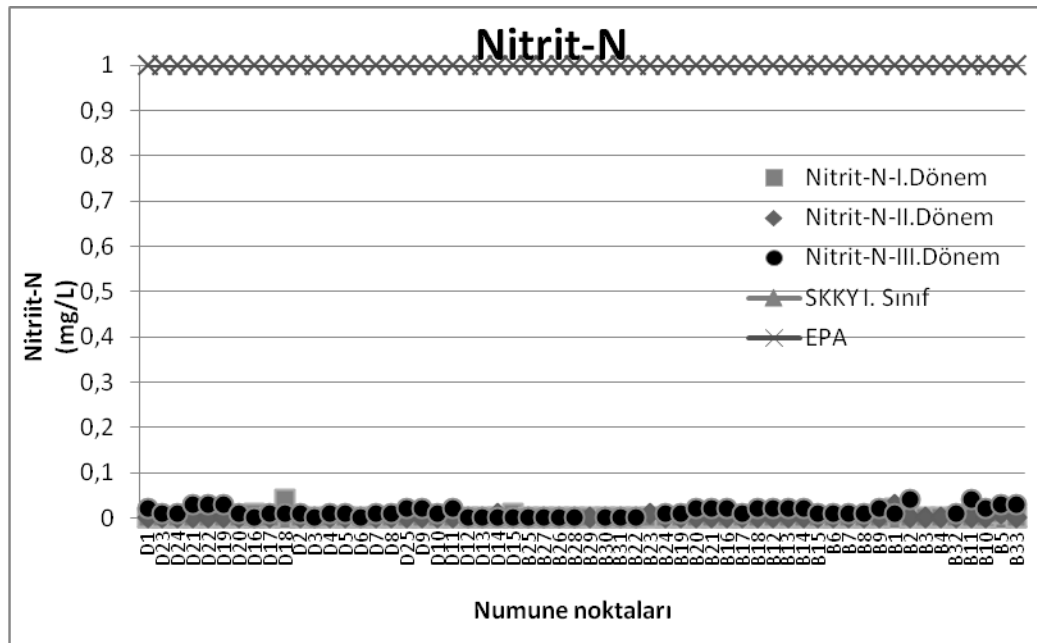


Şekil 4.30. Göksu Deltası yeraltı suyu Tuzluluk değişimi.

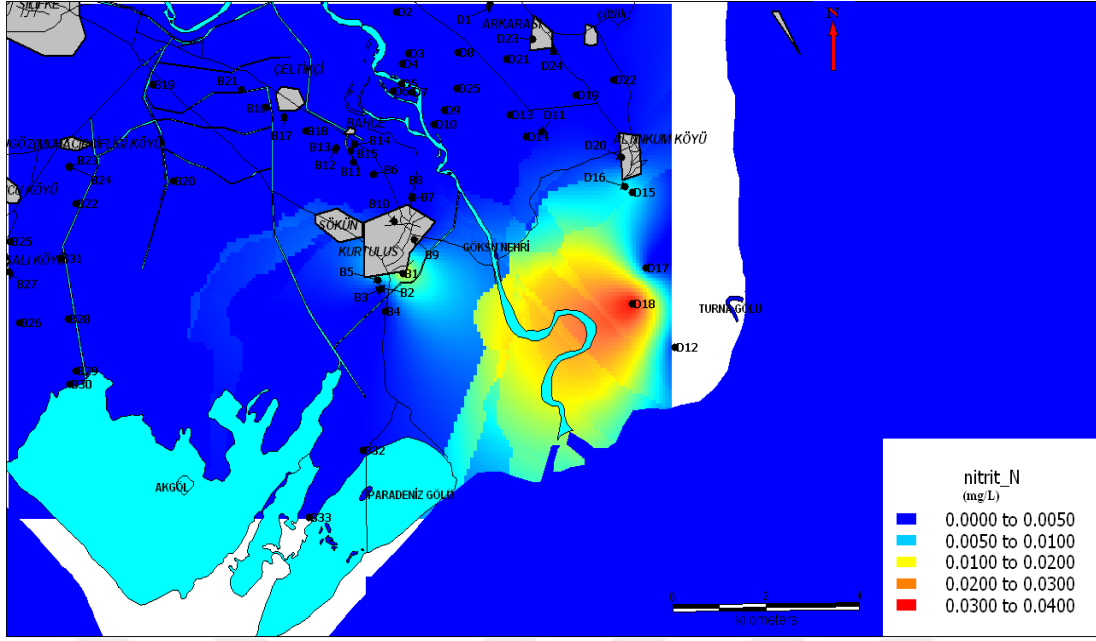
Göksu deltası yeraltı suyundan alınan numunelerde tuzluluk değerleri, 1.dönem 0 ile 2,8, 2.dönem 0 ile 3, 3.dönem 0 ile 3.2 arasında değişmektedir.

Tuzluluk değerleri, Çizelge 4.11’de verilen, Tatlı Su Sınır Değeri olan 1’e göre değerlendirildiğinde, her üç dönemde de 4 kuyu (D17,D18,B32,B33) sınır değeri aşmıştır. Elektriksel iletkenlik değerlerinin yüksek olduğu noktalara paralel olarak tuzluluk değerlerinde ki artış değerlendirildiğinde yine Deniz ve Paradeniz gölü etrafında ki kuyularda tuzluluk değerinin artışı ortaya konulmuştur (Şekil 4.30).

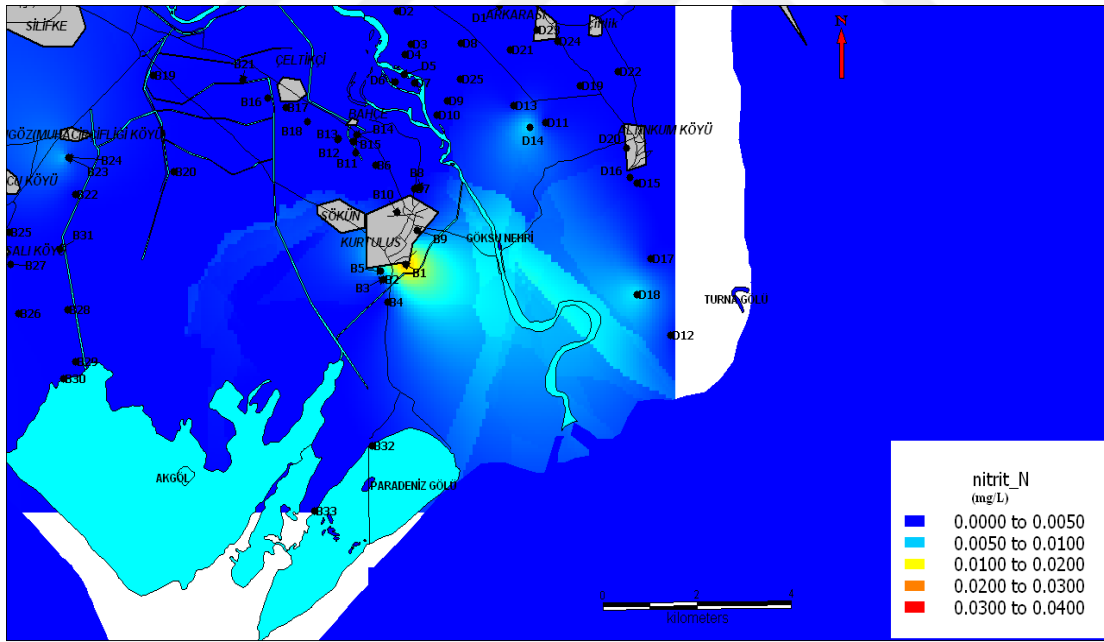
Azot, dünya atmosferinin başlıca bileşenlerini meydana getirir ve nitrat, nitrit, amonyak formlarında bulunur [Haller vd.,2008]. Yeraltı suyunda, oksijen içeriğine bağlı olarak, azotun çeşitli formları olan azot gazı, amonyak ve nitrit genellikle nitrata dönüşür. Nitrit iyonu içme sularında kesinlikle istenmeyen parametredir [Minnesota Pollution Control Agency, 1998].



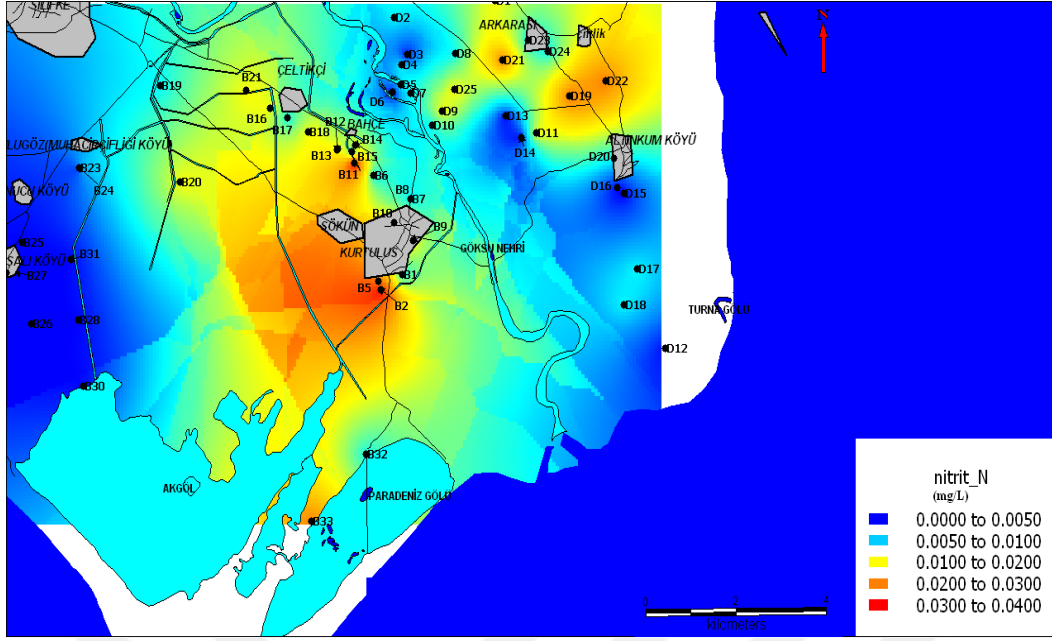
Şekil 4.31. Göksu deltası yeraltı suyu Nitrit Azotu değişimi.



Şekil 4.32. Delta 1.dönem nitrit azotu dağılım haritası.



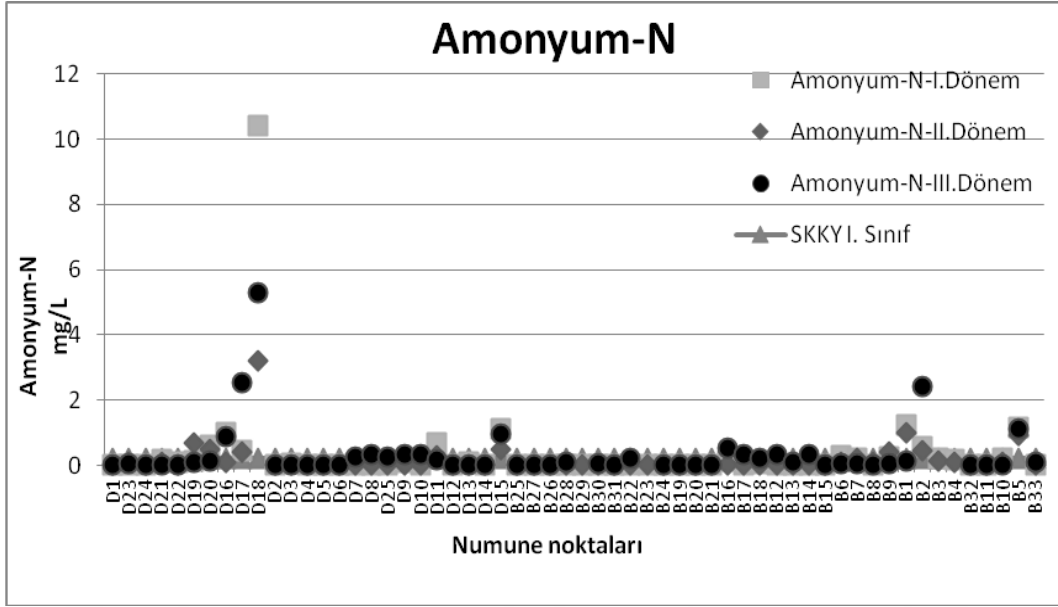
Şekil 4.33. Delta 2.dönem nitrit azotu dağılım haritası.



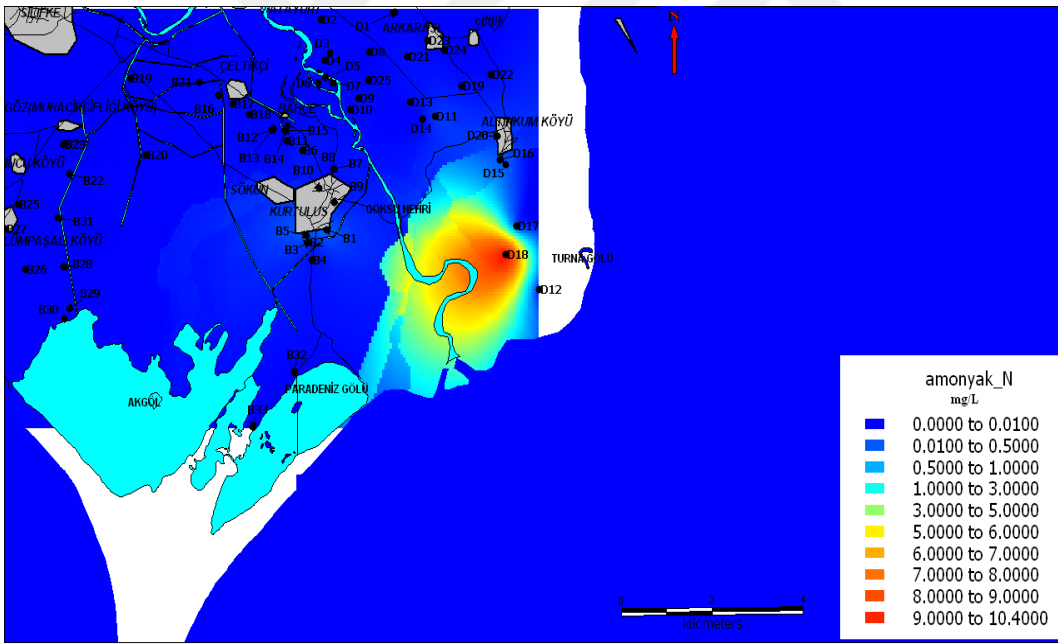
Şekil 4.34. Delta 3.dönem nitrit azotu dağılım haritası.

Göksu deltası yeraltı suyundan alınan numunelerde nitrit azotu, 1.dönem 0 ile 0,04 mg/L, 2. dönem 0 ile 0,03 mg/L, 3. dönem 0 ile 0.04 mg/L arasında değişmektedir. Nitrit azotu değerleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) 1.sınıf su sınır değeri olan 0.002 mg/L ve EPA içme suyu standardı 1 mg/L göre karşılaştırılmıştır. Bu değerlendirme sonucuna göre, 1.dönemde 5 kuyu (D16, D18, D15, B1, B5), 2. dönemde 5 kuyu (D18, D14, B23, B1, B5), 3.dönemde 13 kuyu dışındaki (D16, D6, D12, D13, D14, D15, B25, B27, B26, B28, B30, B31, B22) tüm kuyuların SKKY sınır değerini aştığı tespit edilmiştir (Şekil, 4.31, 4.32, 4.33,4.34).

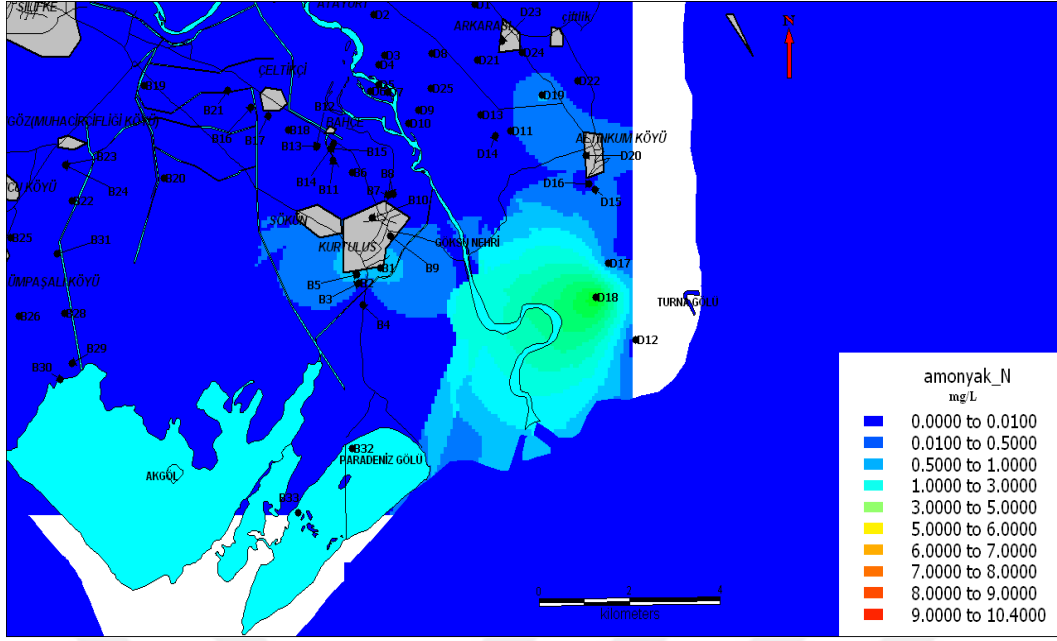
Amonyak doğal sularda genellikle amonyum azotu halinde bulunur ki buna serbest veya tuz halindeki amonyak denir. Sularda amonyak kimyasal ve fiziksel olaylar veya mikroorganizma faaliyetleri sonucu oluşur. Sularda 0,5 mg/L den büyük değerlerde amonyağa rastlandığında bu amonyak kirliliğinin belirtisidir [Samsunlu, 1999].



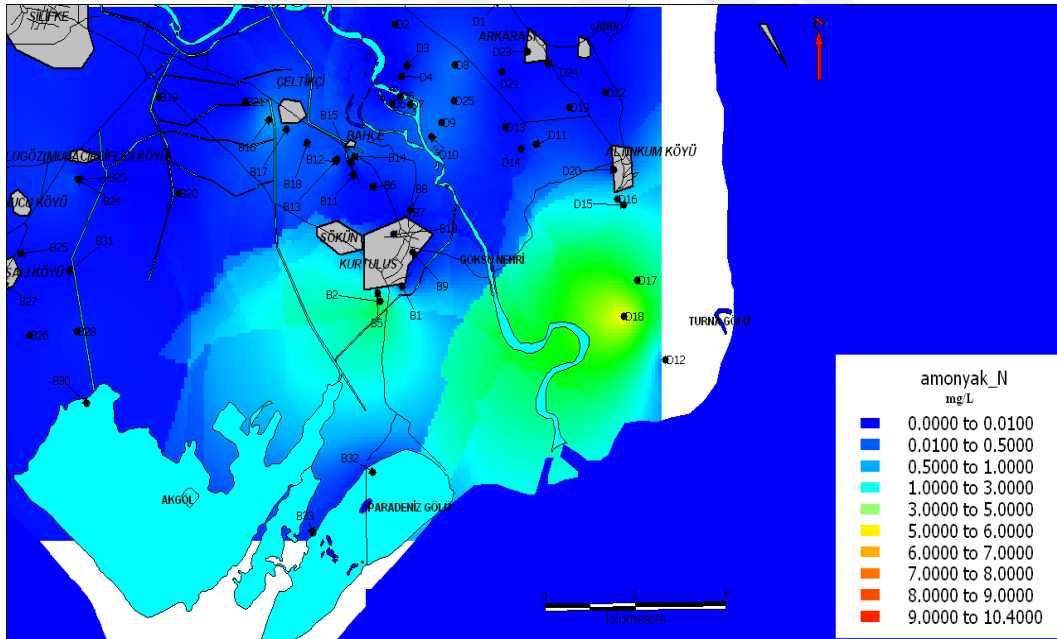
Şekil 4.35. Göksu deltası yeraltı suyu amonyum azotu değişimi.



Şekil 4.36. Delta 1.dönem amonyum azotu dağılım haritası.



Şekil 4.37. Delta 2.dönem amonyum azotu dağılım haritası.



Şekil 4.38. Delta 3.dönem amonyum azotu dağılım haritası.

Göksu deltası yeraltı suyundan alınan numunelerde amonyum azotu değerleri, 1.dönem 0 ile 10,4 mg/L, 2.dönem 0 ile 3,2 mg/L, 3.dönem 0 ile 5.29 mg/L arasında değişmektedir.

Amonyum azotu değerleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği 1 sınıf su (SKKY) 0,2 mg/L göre karşılaştırılmıştır. Bu değerlendirme sonucuna göre, 1.dönemde 12 kuyu (D16, D20, D17, D18, D11, D15, B6, B5, B1, B2, B10, B9),2.dönemde 9 kuyu (D19, D20, D17, D18, D11, B5, B2, B1, B9), 3.dönemde 14 kuyu (D17, D18, D7, D8, D25, D9, D19, D15, B16, B17, B12, B14, B2, B5) sınır değeri aştığı tespit edilmiştir . Amonyum iyonunun diğer kuyulara oranla yoğun olarak bulunduğu D17, D18, D11, D15, D16, D20, B1, B2, B5 nolu kuyular doğuda Altınkum ve çevresi, batıda Kurtuluş, Sökün köylerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir (Şekil 4.35, 4.36, 4.37,4.38,). Şekil 2.23 tarımsal ürün deseni haritası incelendiğinde yukarıda bahsedilen kuyuların bulunduğu bölgelerde narenciye, çilek, sera, özellikle batı kısmında ki kuyularda çeltik tarımının yapıldığı noktalar olduğu tespit edilmiştir. Alanda aylara göre kullanılan gübre ve pestisit çizelgelerine bakıldığında ise bu ürünlerde 3 dönemde de örnek alınan aylar da (şubat-kasım-eylül) yoğun olarak amonyum sülfatlı/nitratlı gübre kullanıldığı görülmektedir.

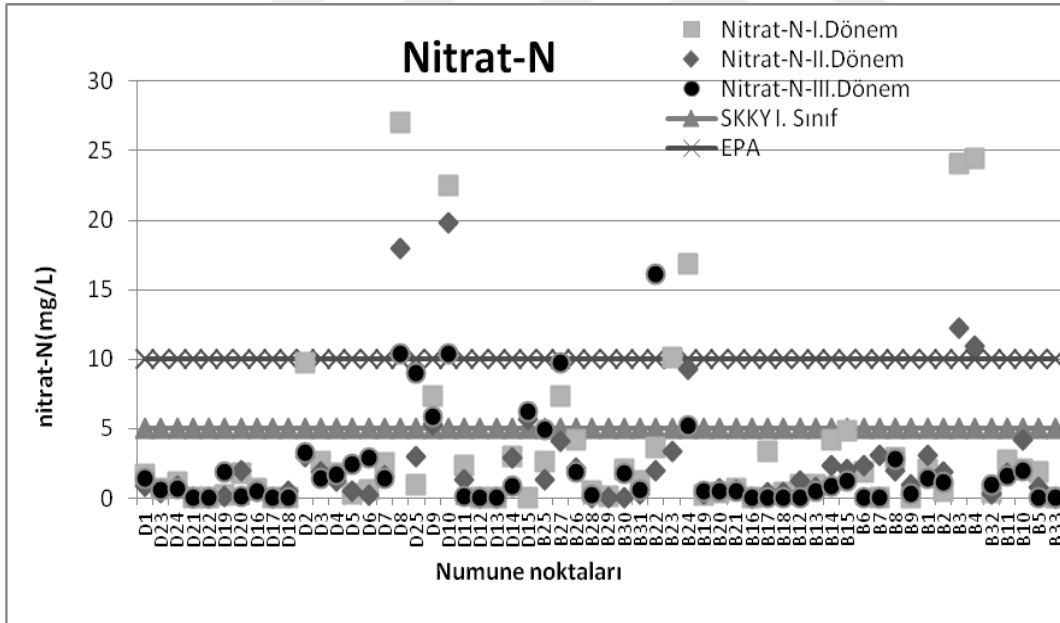
Nitrat yeraltı suyunda azotun oksitlenmiş formunun ilkidir. Toprakta azotun temel kaynağı, atmosfer ile olan etkileşimidir. Atmosferde %78 azot gazı vardır. Nitratın küçük miktarları toprak ve kayalarda bulunan mineraller ve yağışların içerdiği atmosferik azotun sonucu olarak yeraltı suyunda doğal yollarla bulunur[Minnesota Pollution Control Agency, 1999].

Yeraltı suyu nitrat kontaminasyonuna sebep olan bazı yerel kaynaklar; hayvan ve insan atıkları endüstriyel atıklar, gübreler [Comly, 1987] ve yerleşim yerlerinde elle ya da kaza sonucu azotlu materyallerin dökülmesi ile birikebilir [Hallberg vd. 1993,].Yeraltı sularının nitrat kirliliğine bir diğer antropojenik kaynak örneği septik tanklardır. Yeraltı suyu kontaminasyonu genellikle septik sistemlerin yoğunluğu ile ilgilidir [Comly, 1987] . Göksu Deltası'nda tarımsal üretimde kullanılan başta kimyasal gübreler olmak üzere gübreler bu bölgedeki suların kirlenmesinde önemli bir paya sahiptir. Gübrelerden kaynaklanan kirlilik içerisinde ise üzerinde en fazla durulan suların nitrat ile kirlenmesidir. Toprakta

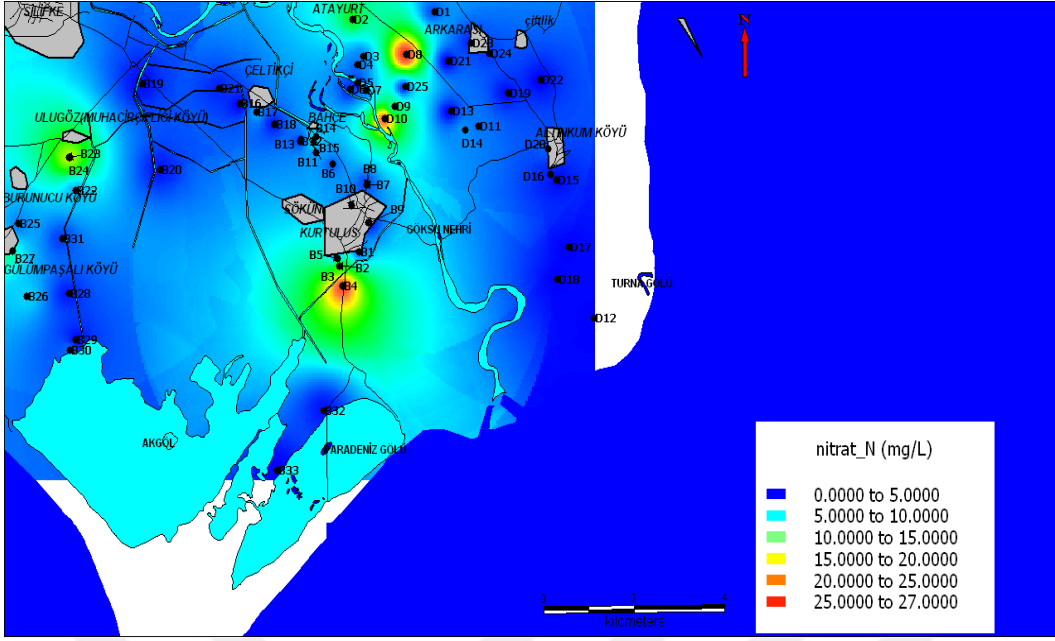
ki nitratın koşullara göre değişen miktarları, yıkanarak toprak derinliğine hareket etmekte ve bir bölümü yeraltı ve yerüstü sularına ulaşmaktadır.

Göksu deltasında kanalizasyon şebekesi yerine fosseptiklerin olması yeraltı suyunda azot (amonyum azotu-nitrit azotu-nitrat azotu) ve fosfat konsantrasyonunun artmasına sebep olmaktadır. Bölgede baskın olarak bulunan alüvyon akifer, nitrat kontaminasyonuna yüksek hassasiyet gösteren akifer grubuna girmektedir.

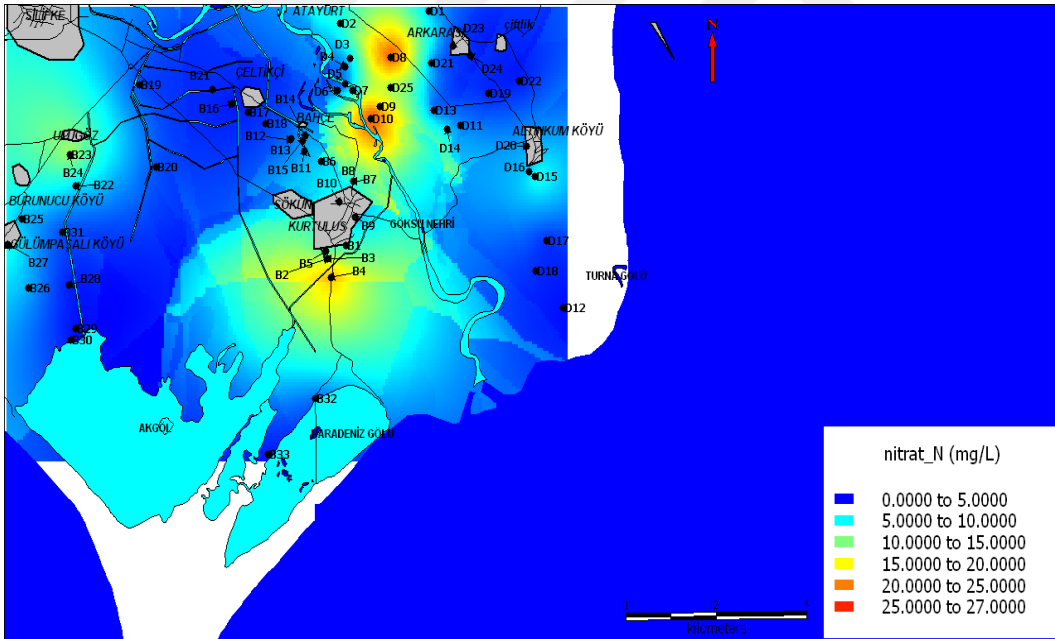
Tarım topraklarından her yıl hasat edilen tane, sap, meyve, yumru vb. ürünlerle önemli miktarlarda besin elementleri kaldırılır. Yıkama suretiyle topraktan uzaklaşan N, P, K, Ca ve Mg miktarları arasında karşılaştırma yapılırsa, sıra ile en fazla kalsiyum yıkanmakta, buna azot ve potasyum izlemekte, en az yıkanan fosfor olmaktadır.



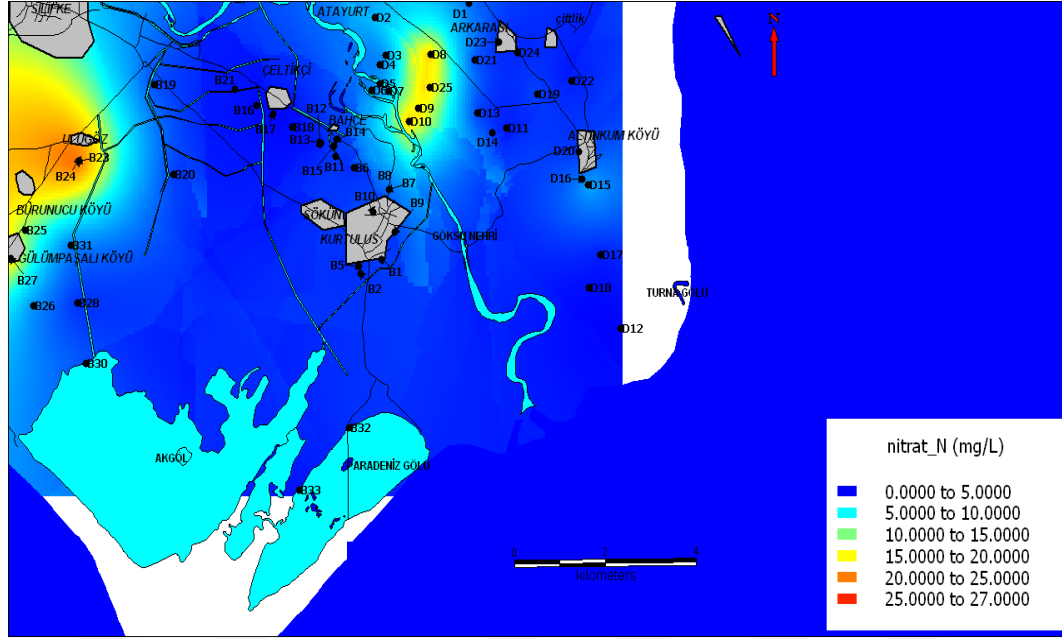
Şekil 4.39. Göksu deltası yeraltı suyu Nitrat Azotu değişimi.



Şekil 4.40. Delta 1.dönem Nitrat Azotu dağılım haritası.



Şekil 4.41. Delta 2.dönem Nitrat Azotu dağılım haritası.



Şekil 4.42. Delta 3.dönem Nitrat Azotu dağılım haritası.

Göksu deltası yeraltı suyundan alınan numunelerde nitrat azotu, 1.dönem 0 ile 27 mg/L , 2.dönem 0 ile 19,8 mg/L, 3.dönem 0 ile 16,10 mg/L arasında değişmektedir.

Nitrat azotu değerleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği 1 sınıf su (SKKY) 5 mg/L ve EPA 10 mg/L ye göre karşılaştırıldığında; 1.dönemde 9 kuyu SKKY sınır değerini (D2, D8, D9, D10, D15, B27, B23, B24, B3, B4), 6 kuyunun (D8, D10, D15, B23, B24, B3, B4) da EPA sınır değerini aştığı tespit edilmiştir. 2.dönemde 8 kuyu SKKY sınır değerini (D8, D9, D10, D15, B24, B3, B4), 4 kuyunun (D8,D10,D15,B3,B4) da EPA sınır değerini aştığı tespit edilmiştir. 3. dönemde 7 kuyu SKKY sınır değerini (D8, D9, D25, D10, B27, B22), 3 kuyu (D8, D10, B22) EPA sınır değerini aştığı tespit edilmiştir. (Şekil, 4.39, 4.40, 4.41,4.42).

Toprakların net yükü negatif olmakla beraber bu toprakların katyon değişim kapasitesini etkilemektedir. Toprak da anyonların adsorpsiyonunu

topraktaki pozitif yüklerin miktarı etkilidir. Topraktaki pozitif yükler ise pH, organik madde ve kil miktarı ile ilgilidir [Kowalenko ve Su, 1995]. Deltanın toprak özellikleri üzerine yapılan araştırmalarda pH 8 e yakın (alkali), ortalama %25 CaCO₃ , %2 organik madde, %30 kum, %26 kil ve %34 silt içerdiği ortaya konulmuştur [Köleli ve Demir, 2009, Göksu Deltası Yönetim Planı, 2009].

Toprakta azot en fazla nitrat şeklinde yıkanır. Nitrat eksi elektrik yüküne sahiptir. Toprak net yükü negatif elektrik yüküne sahip olduğu için nitrat toprakta tutulmaz ve dolayısıyla fazlaca yıkanır bu yüzden de nitrat iyonunun gecikmesi (retardasyonu) çok küçük veya sıfırdır [Kaçar ve Katkat 2007, Obeidat vd.,2008]. Bu da demek oluyor ki deltanın toprak özellikleri dikkate alındığında nitrat anyonunun toprakta adsorplanması (tutulması) mümkün olmayacaktır.

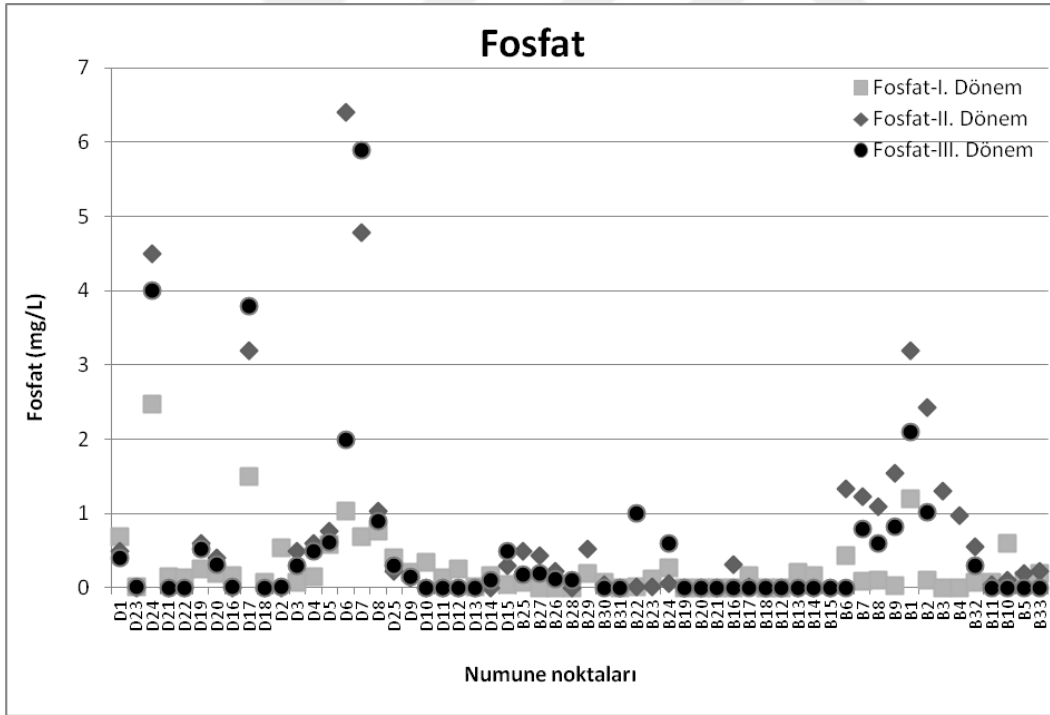
Nitratın yeraltına sızan nitratın miktarı, yüzeydeki ürün cinsi ile birlikte toprağa uygulanan gübrenin miktarına, bitkinin bu gübreyi kullanımına bağlıdır. Kış ve bahar aylarında bitkilerin büyümesi yavaşlar, buna bağlı olarak da topraktan bünyesine aldığı nitrat miktarı azalır ve toprakta biriken nitratın, yağmur sularının da etkisiyle yeraltı suyuna geçişi artmaktadır. [Kaçar ve Katkat 2007].

Nitrat iyonunun diğer kuyulara oranla yoğun olarak bulunduğu D2, D9, D8, D10, D15, B3, B4, B10, B14, B15, B23, B24, B27 nolu kuyular doğuda Göksu nehri kuzey doğusu ile Altinkum arasında, batıda Kurtuluş, Sökün, Bahçe, Ulugöz, Gülümpaşalı köylerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. 1.dönem nitrat iyonu sonuçları, 2.ve 3. döneme oranla her kuyuda olmasa da baskın olarak daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi olarak da 1.dönemde (şubat ayı) alandaki bitkilerin büyümesi yavaşladığından nitrat alımı azalmış ve toprakta biriken nitrat yağış ve sulama suları ile yeraltı suyuna taşındığı düşünülmektedir.

Nitrat iyonunun yoğun olduğu bölgeler tarımsal ürün deseni haritası (Şekil 2.23) ile değerlendirilirse, narenciye üretiminin yapıldığı bölgelerde artış olduğu

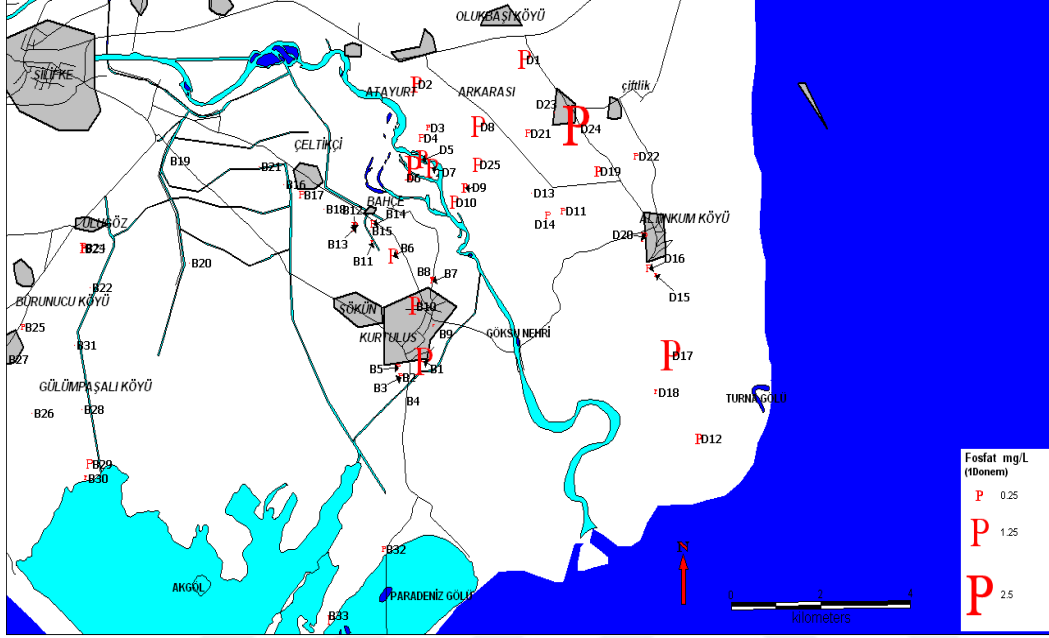
görülmektedir. Alanda aylara göre kullanılan gübre ve pestisit miktarlarını gösteren çizelgeler incelendiğinde de narenciye üretiminde Kasım (2.dönem) ayında meyvenin irileşmesi için verilen KNO_3 gübre, bu dönemde bazı kuyularda da nitratın artışı açıklamaktadır.

Grandin ve Camacho (1995) kil ve organik madde içeriği düşük, kum içeriği ve hidrolik iletkenliği yüksek, pH'sı 7,8 olan Pasifik kıyısında, Amerika Birleşik Devleti eyaleti olan tarımsal aktivitelerin yoğun olduğu Oregon da yaptıkları çalışmada, yağışlı ve kurak mevsimlerde yeraltı suyu örnekleri almışlardır. Alınan örneklerde nitrat azotu değişimini incelemişler ve yağışlı mevsimlerde topraktan yeraltı suyuna sızan nitrat daha fazla olduğunu (49 mg/L) tespit etmişlerdir [Grandin , Camacho 1995].

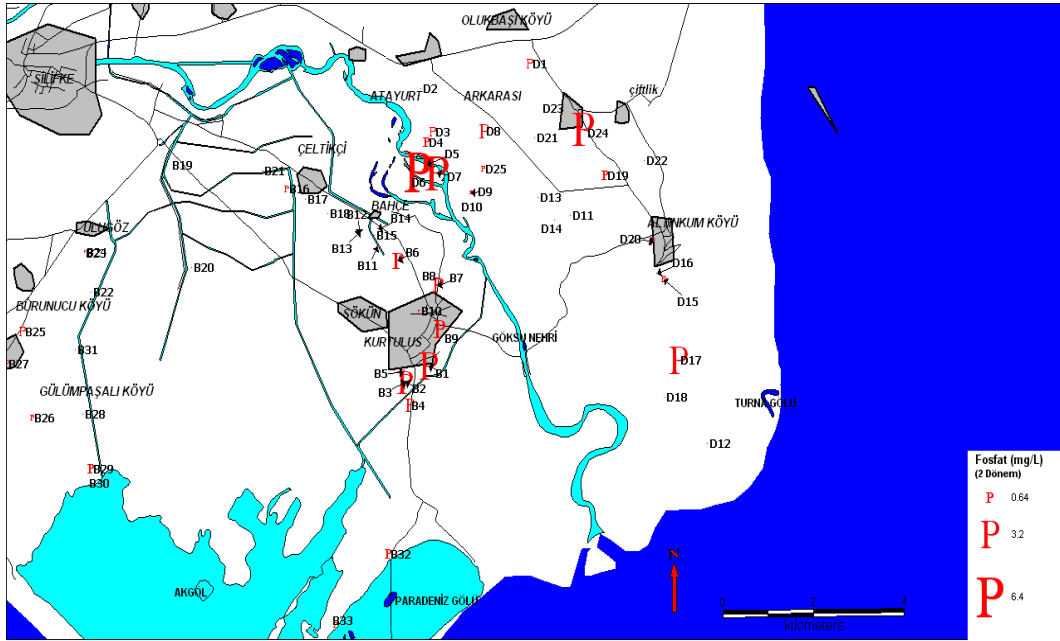


Şekil 4.43. Göksu deltası yeraltı suyu Fosfat iyonu değişimi .

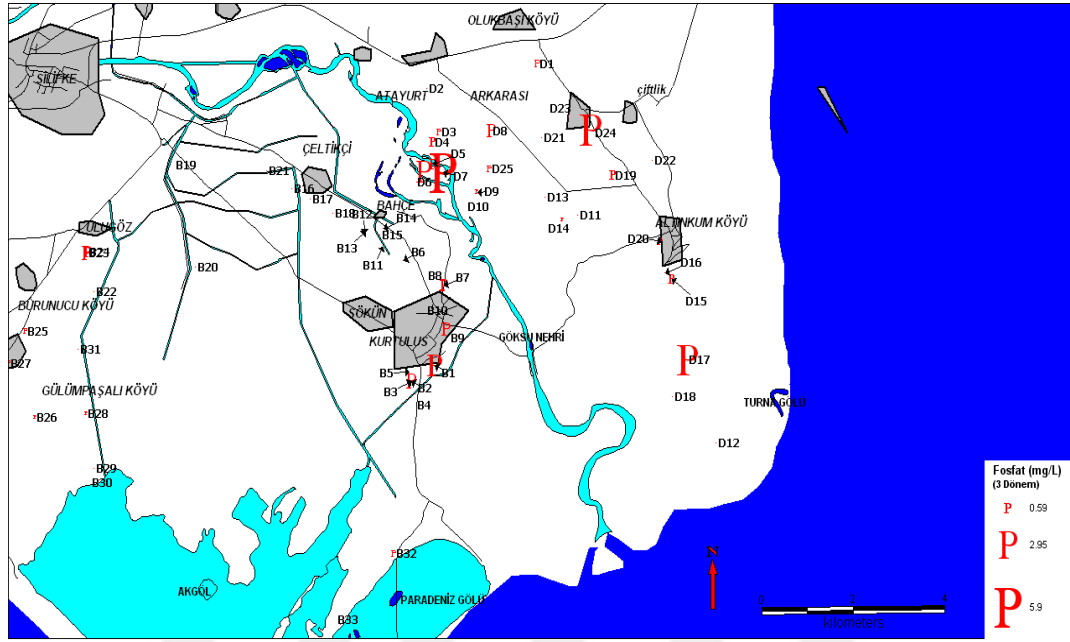
Göksu deltası yeraltı suyundan alınan numunelerde fosfat değerleri, 1.dönem 0 ile 2,48 mg/L, 2.dönem 0 ile 6,4 mg/L, 3.dönem 0 ile 5,9 mg/L arasında değişmektedir (Şekil, 4.43, 4.44, 4.45,4,46).



Şekil 4.44. Delta 1.dönem fosfat dağılım haritası.



Şekil 4.45. Delta 2.dönem fosfat dağılım haritası.



Şekil 4.46. Delta 3.dönem fosfat dağılım haritası.

Fosfat iyonunun diğer kuyulara oranla yoğun olarak bulunduğu D24, D17, D6, D7, D1, D19, D20, B1, B3, B4, B6, B7, B8, B9, nolu kuyular doğuda Göksu nehri kuzey doğusu ile Arkarası, Altinkum arasında, batıda Kurtuluş, Sökün, Bahçe, köylerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. 1.dönem fosfat iyonu sonuçları, 2.döneme ve 3.döneme oranla her kuyuda olmasa da baskın olarak daha düşük çıkmıştır. Fosfat iyonunun yoğun olduğu bölgeler alanın ürün deseni haritası (Şekil 2.23) ile değerlendirilirse, narenciye, çilek, sera, buğday, çeltik üretiminin yapıldığı bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Alanda aylara göre kullanılan gübre ve pestisit çizelgelerine bakıldığında (ikinci ve üçüncü dönem örnekleme) eylül ayından kasım ayına; çilek üretimi için fosforlu gübre ve N-P-K dengeli gübre, çeltik ve buğday üretimi için N-P-K dengeli gübre kullanılması bu dönemde kuyularda fosfat miktarının artışı açıklamaktadır.

4.2.4. YüzeY Suyu Kirlenici Parametre Sonuçları

Göksu Deltası yüzeY sularından 3 dönemde de alınan numunelerde yapılan kirlenici parametre sonuçları Çizelge 4.12, Çizelge, 4.13, Çizelge, 4.14'de verilmiştir.

Çizelge 4.12 YüzeY suyu kirlenici parametre analiz sonuçları (1.dönem) (mg/L)

Numune No.	X(m)	Y (m)	Z (m)	pH	T(°C)	EC (us/cm)	Sal	C.O	Amonyak	Nitrit	Nitrat	Fosfat
Deniz	596865	4024296	0	8.07	18.7	56600	37	8.6	1.11	0.00	1.77	0.04
R1	582869	4029092	9	8.25	14.8	497	0	6.65	0.00	0.00	0.00	0
SK1	591453	4023145	0	8.19	14	431	0	6.74	0.05	0.00	2.22	0
Para1	588885	4017363	0	8.13	16.7	51800	34	8.2	0.28	0.00	0.00	0
Akg1	587003	4016404	0	8.56	15.7	16720	9.7	8.3	0.00	0.00	0.00	0.7

Çizelge 4.13 YüzeY suyu kirlenici parametre analiz sonuçları (2.dönem) (mg/L)

Numune No.	X(m)	Y (m)	Z (m)	pH	T(°C)	EC (us/cm)	Sal	C.O	Amonyak	Nitrit	Nitrat	Fosfat
Deniz	596865	4024296	0	8,21	21	56000	36,9	9,65	0,00	0,00	0,00	0,00
R1	582869	4029092	9	8,16	14,6	450	0	9,84	0,00	0,00	0,00	0,00
SK1	591453	4023145	0	8,21	13,6	502	0	9,02	0,01	0,00	0,04	0,00
Para1	588885	4017363	0	8,28	16,4	34400	21,3	9,5	0,04	0,00	0,00	0,00
Akg1	587003	4016404	0	9,03	13,5	2040	0,9	9,14	0,00	0,00	0,00	0,32

Çizelge 4.14. YüzeY suyu kirlenici parametre analiz sonuçları (3.dönem) (mg/L)

Numune No.	X(m)	Y (m)	Z (m)	pH	T(°C)	EC (us/cm)	Sal	C.O	Amonyak	Nitrit	Nitrat	Fosfat
Deniz	596865	4024296	0	8,01	29	60200	40,4	9,3	0,00	0,00	0,00	0,01
R1	582869	4029092	9	8,16	24,2	464	0	9,87	0,00	0,00	0,00	0,00
SK1	591453	4023145	0	8,21	21,8	562	0,1	8,12	0,02	0,00	0,14	0,01
Para1	588885	4017363	0	8,18	28,4	42000	26,9	9,01	0,14	0,00	0,00	0,00
Akg1	587003	4016404	0	9,42	26,9	3120	1,5	8,86	0,03	0,00	0,00	0,00

Göksu deltası yüzey suyundan alınan numunelerde pH değerleri, 1.dönem 8,07 ile 8,56, 2.dönem 8,13 ile 9,03, 3.dönem 8,01- 9,42 arasında değişmektedir.

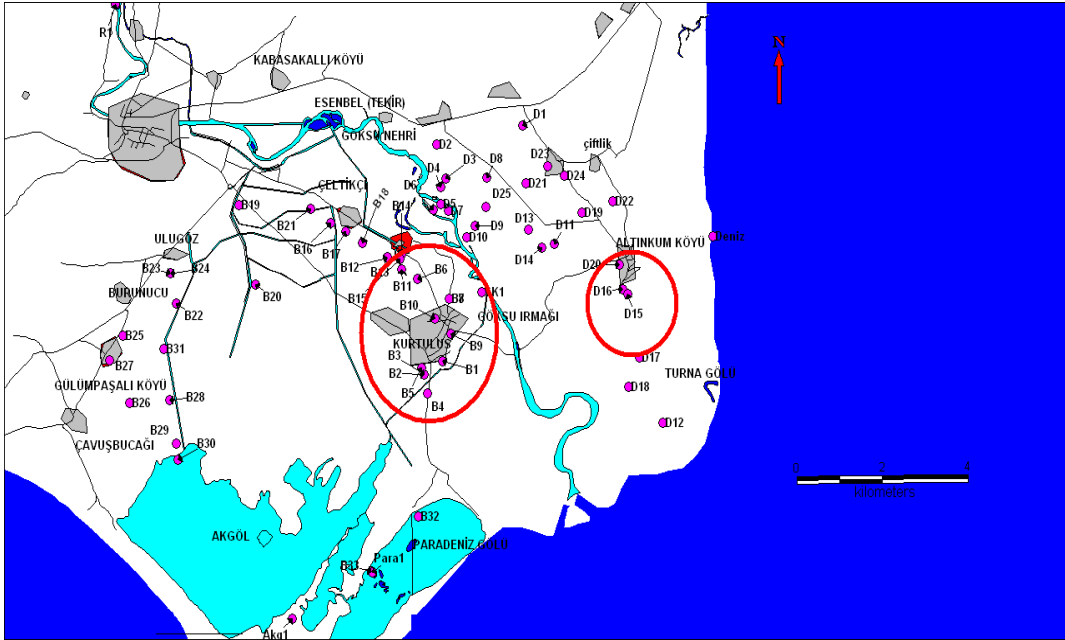
Göksu Nehri üzerinden alınan numunelerde elektriksel iletkenlik değerleri 1.dönem en fazla 497 uS/cm iken 2.dönem ölçümlerinde bu değer 502 uS/cm, 3.dönem 562 uS/cm değerinde olduğu tespit edilmiştir.

Delta'da Ocak ile Haziran ayları arasında nehir havzasında, Ermenek ve Gökçay kollarında oluşan sert fırtınaların sebep olduğu taşkınlar gözlenir . Taşkınlar nadiren Akgöl civarında etkili olur. Akgöl de Şubat ayında gözlenen yüksek elektriksel iletkenlik değeri de bu taşkınların sebep olduğu Akgöl-Paradeniz etkileşiminden kaynaklanmaktadır.

Yüzey sularından alınan örneklerde ciddi bir kirlilik tespit edilmemiştir.

4.3. İZOTOP ANALİZ SONUÇLARI

Bu çalışmada Göksu Deltasında ki azot kirlilik kaynağını belirlemek için, Sökün köprüsü, Regülatör ve Deniz olmak üzere 3 adet yüzey suyu, 4 adet yeraltı suyu (Bahçeköy, Sökün köyü, Kurtuluş köyü, Altinkum mahallesi (Arkum)) , olmak üzere toplam 7 adet izotop örneği yağışlı ve kurak olmak üzere iki dönem alınmıştır. Analizler İngiltere de özel bir laboratuvar olan *Iso-Analytical Ltd* kararlı izotop analiz laboratuvarında yaptırılmıştır. Şekil 4.47’de yeraltı suyundan alınan izotop numunelerinin yer buldur haritası, Çizelge 4.15-4.16’ da analiz sonuçları verilmiştir.



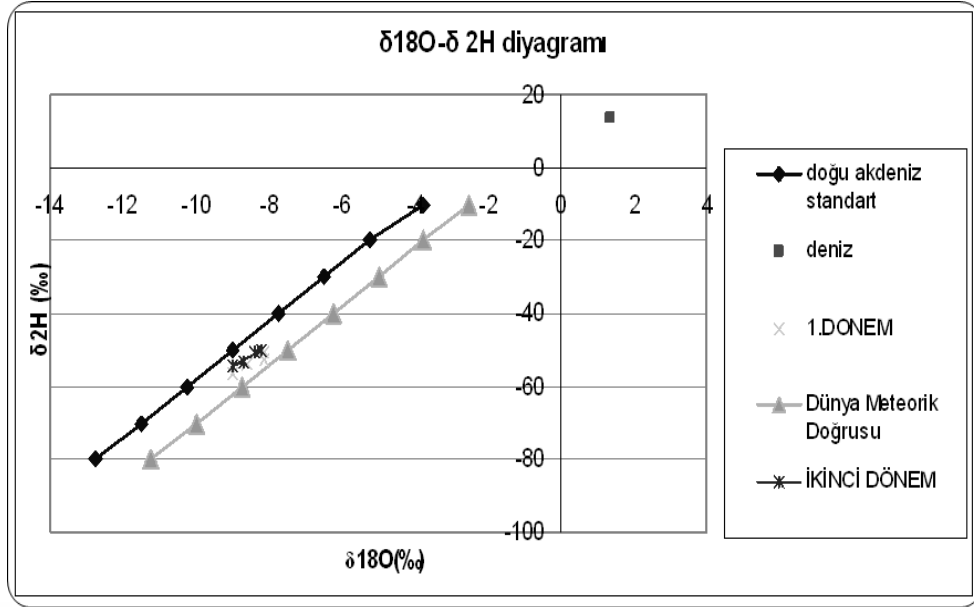
Şekil 4.47.Yeraltı suyu izotop numuneleri yer buldur haritası.

Çizelge 4.15. Yağışlı mevsim (1.Dönem) izotop analizi sonuçları .

KOD	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	$\delta^2\text{H}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$
Sökün köp	-9.05	-56.86	20.57
Regülatör	-9.35	-57.33	28.33
Deniz	1.41	15.34	-
B10	-8.40	-50.52	54.11
D15	-8.22	-50.09	19.63
B5	-8.99	-54.55	58.07
B11	-8.69	-53.18	38.18
Atıksu	-7.38	-44.0	44,52
Gübre	-8.31	-46.8	2,33

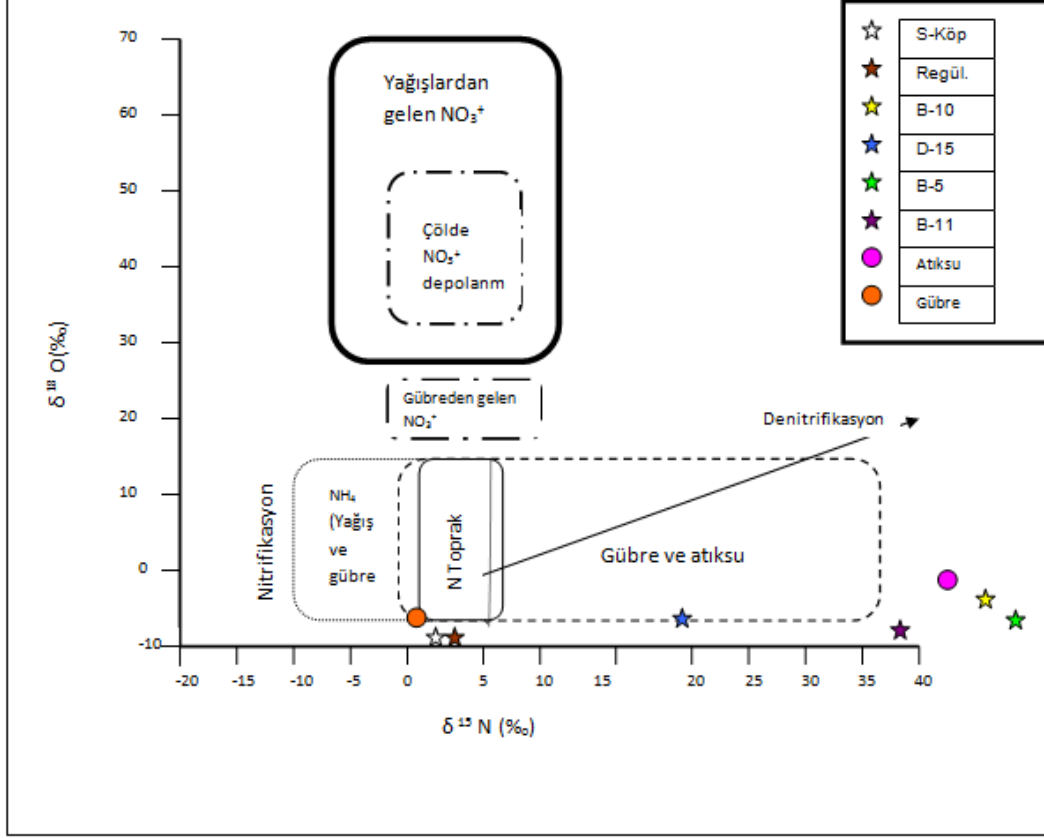
Çizelge 4.16. Kurak mevsim (2.Dönem) izotop analizi sonuçları .

KOD	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	$\delta^2\text{H}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$
Sökün köp	0.8	-58,21	3,17
Regülatör	1.34	-56,82	3,95
Deniz	1,35	13,69	-
B10	-8,12	-50,85	3,86
D15	-8,15	-52,52	29,44
B5	-8,99	-56,36	4,13
B11	-8,60	-53,98	10,25

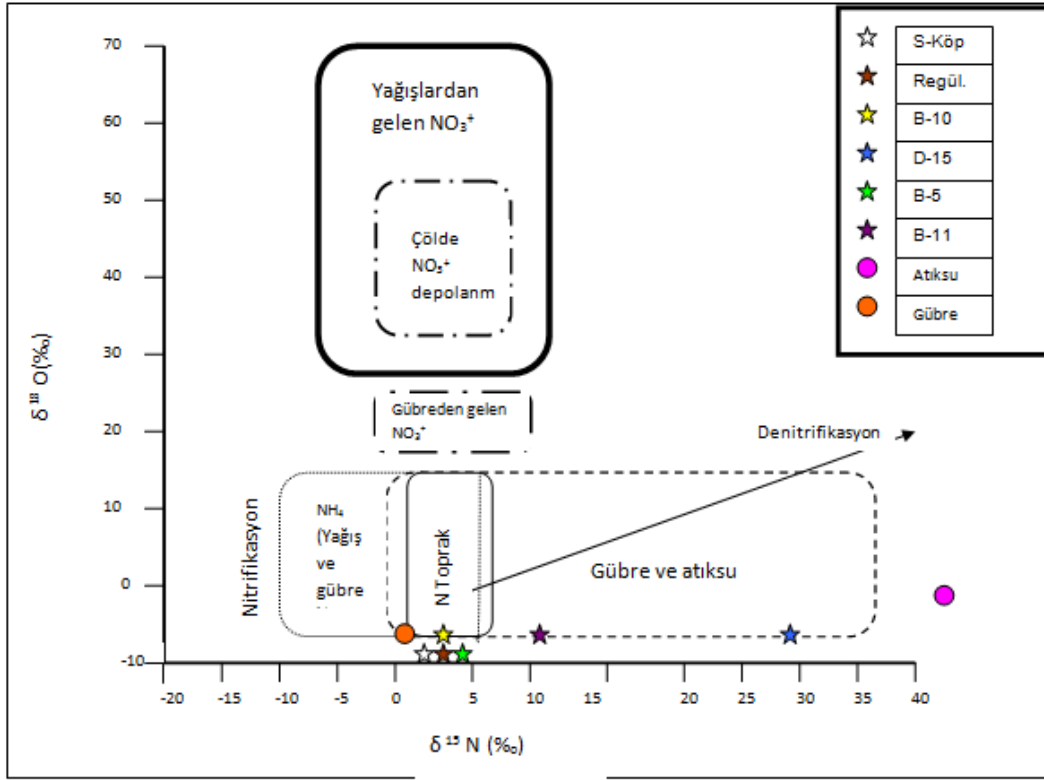


Şekil 4.48. Delta yeraltı suyu δD ve δ¹⁸O izotop diyagramı. (Şubat(1.)-Kasım(2.) 2011)

Şekil 4.48 incelendiğinde iki dönemde de alınan yeraltı sularının δD ve δ¹⁸O izotop değerleri Doğu Akdeniz doğrusu (yerel meteorik doğru) ile Dünya Meteorik Doğrusu arasına düşmektedir. Şekil 2.13 göz önüne alınarak, yağışlı mevsim sonuçlarının A noktasına yakınlığı, delta yeraltı suyu izotop sonuçlarına uymakta ve yeraltı sularının *yüksek kotlardan* beslenen sular olduğu ortaya çıkmıştır. Yüzey sularından alınan numunelerde δD ve δ¹⁸O izotoplarının fakir olduğu ortaya konulmuştur. AquaChem ile suyun fasiyesini belirleme çalışmasında da, sulara baskın olarak üst kotların jeolojik yapısına paralel olarak, yeraltı sularında **Ca-Mg-HCO₃** iyonlarına rastlanması bu sonuçları desteklemektedir.



Şekil 4.49. Yağışlı mevsim (1.Dönem) delta izotop örneklerinin Azot-15 açısından değerlendirilmesi [Coplen vd.2000].



Şekil 4.50. Kurak mevsim (2.Dönem) delta izotop örneklerinin Azot-15 açısından değerlendirilmesi [Coplen vd.2000].

Şekil 4.49 ve 4.50 incelendiğinde alanda en fazla kullanılan gübrenin Azot 15 izotop değeri ile atıksu Azot 15 izotop değerleri arasında ki fark bize numunelerin kaynağını belirlemede kolaylık sağlayacaktır. ^{15}N izotop sonuçları incelendiğinde alanda en çok kullanılan amonyum-nitrat gübresinde ki ^{15}N izotop oranı literatürlerde belirlenen oranlar ile yakın olduğu, atıksuyun ise ^{15}N izotopunca zengin olduğu ortaya konulmuştur. Atıksuyun azot izotopu yönünden zengin olması, atıksu kontaminasyonuna maruz kalan kuyuların belirlenmesinde önemli bir faktör olmaktadır.

Çizelge 4.15 incelendiğinde yağışlı mevsimde alınan numunelerde Azot 15 izotop değerleri kurak mevsime göre daha fazla çıkmıştır. Bu da alandan alınan yağışlı /kurak mevsim kirlenici parametre analiz sonuçlarını desteklemekle

birlikte, yağışlı mevsimde yağmur ve sulama suları ile nitrat iyonu topraktan daha fazla yıkanarak yeraltına geçtiğini göstermektedir.

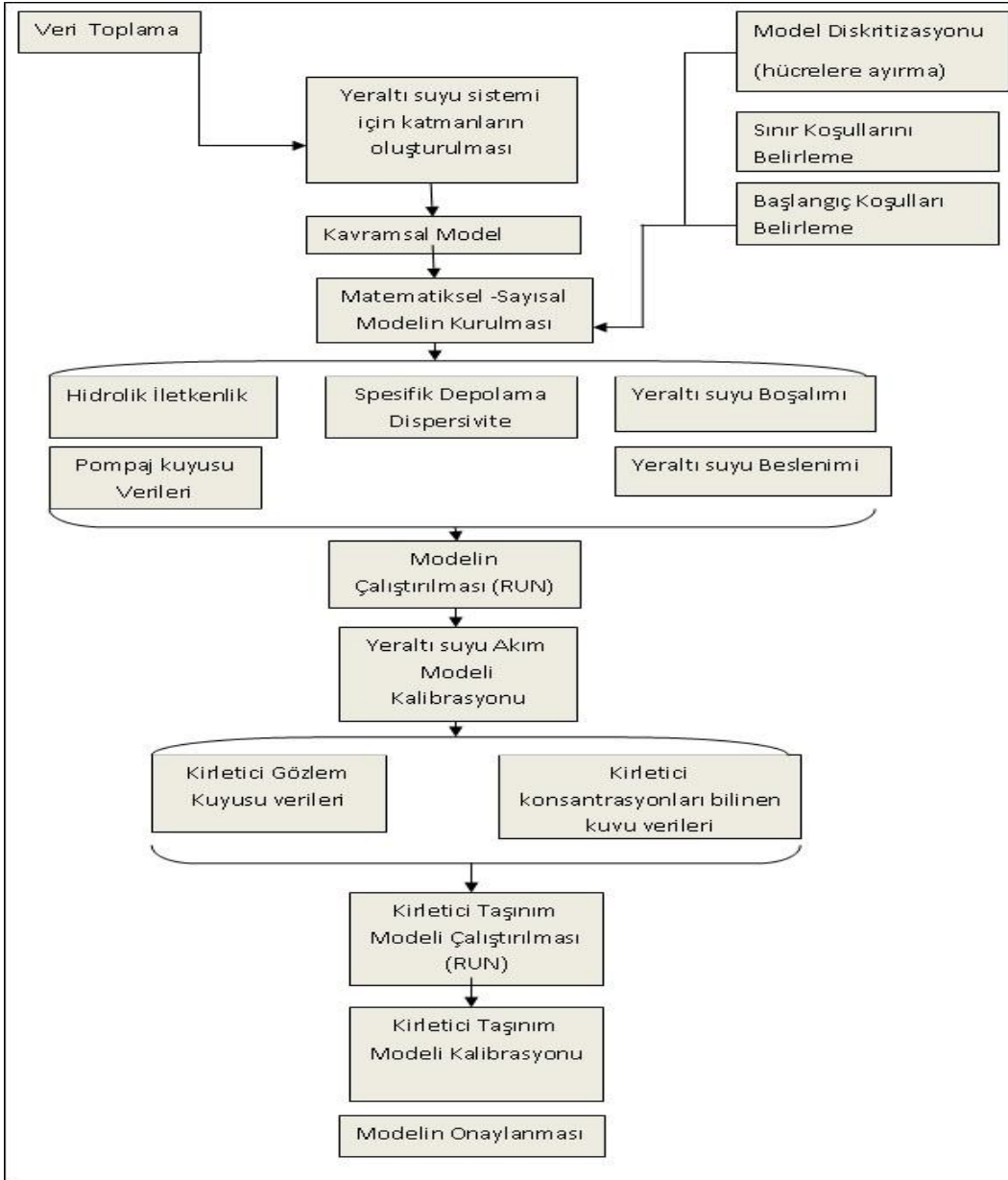
Yağışlı mevsim (1.dönem)de alınan numunelerden B5-B10-B11 Kurtuluş-Sökün köyü civarı alınan numunelerde yapılan Azot 15 izotop analizi sonucunda, bölgedeki yeraltı suyu azot kirlilik kaynağının atık sulardan kaynaklandığını ortaya koymuştur. D15 nolu kuyudaki ki azot kirliliği kaynağının ise gübre ve atıksu kaynaklı olduğunu göstermektedir (Şekil 4.49).

Kurak mevsim (2.dönem)de alınan numuneler de Azot 15 izotop analiz sonuçları; B11-D15 nolu kuyuların azot kirliliği kaynağının gübre ve atıksudan kaynaklı olduğu, B10 ve B5 nolu kuyularda ki azot kirliliğinin de gübre ve toprakta biriken azottan kaynaklandığını ortaya koymuştur (Şekil 4.50) .

Göksu nehri üzerinden alınan yüzey suyu örneklerinde yapılan Azot 15 izotop analizlerinin iki dönem sonuçları incelendiğinde, azot kirliliğinin bu bölgelerde ciddi boyutta olmamakla birlikte kaynağını tespit edecek verilere rastlanmamıştır (Şekil 4.49-4.50).

4.4. GÖKSU DELTASI YERALTI SUYU AKIM ve KİRLİTİCİ MODEL SONUÇLARI

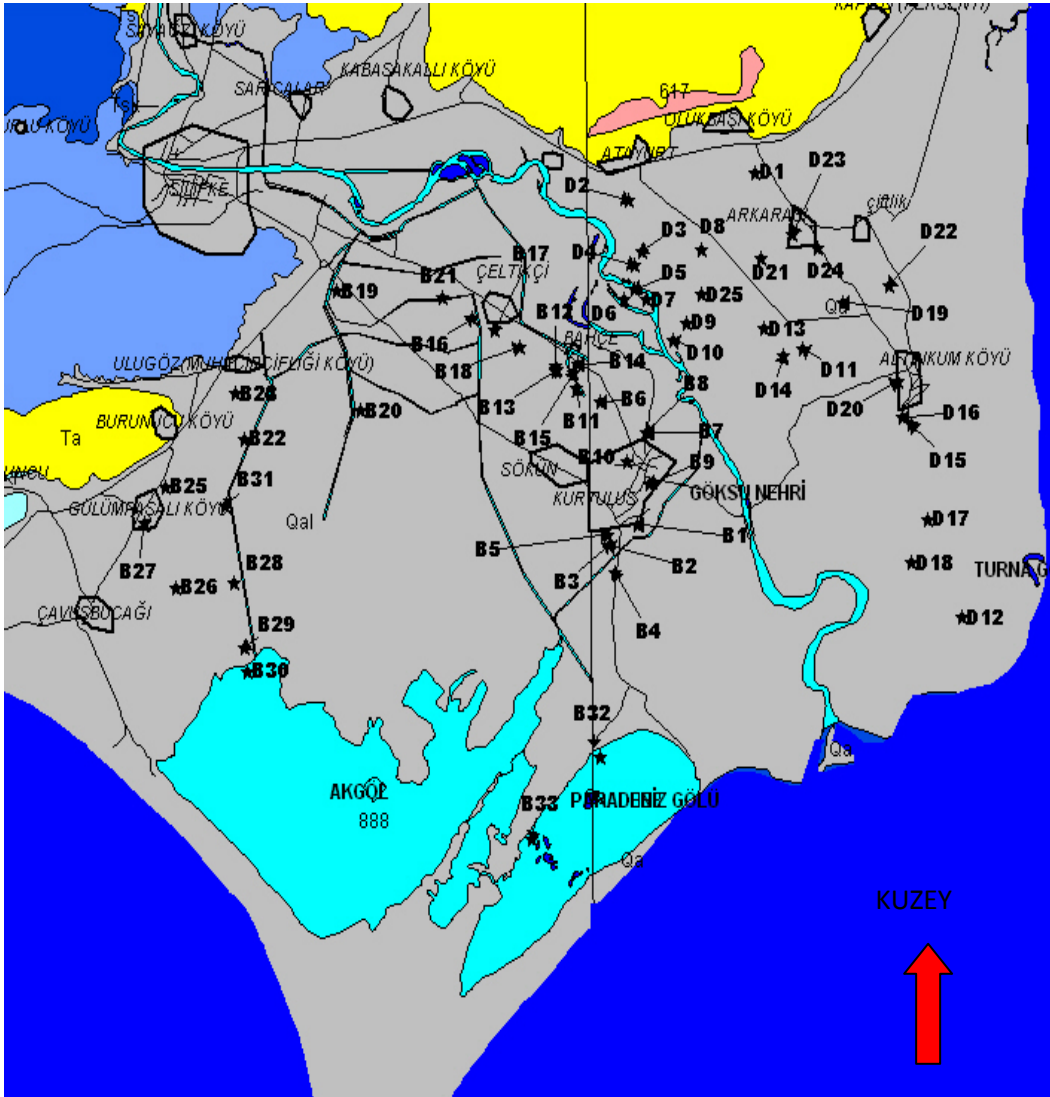
Tüm modelleme çalışmaları kısaca aşağıdaki diyagramda anlatılmıştır (Şekil 4.51). Yeraltı suyu modellerinde, kirlenici taşınımını modelleyebilmek için ilk önce akım modelinin kurulması gerekmektedir.



Şekil 4.51. Göksu Deltası yeraltı suyun akımı ve kirlenici taşınım modellenmesinde izlenen basamaklar.

4.4.1. Yeraltı Suyu Akım Modeli

Yeraltı suyu akımı ve kirlilik kaynaklarının ortaya konulabilmesi için Visual MODFLOW yazılımı kullanılarak Göksu Deltası akiferi modellenmiştir. Modelleme çalışmalarında akifer geometrisinin modele girişi için jeoloji haritası basitleştirilerek kullanılmıştır (Şekil 4.52).



Şekil 4.52. Göksu Deltası basitleştirilmiş jeoloji haritası (Model için altlık)

Yeraltı suyu akım modellerinde IBOUND düzeni olarak isimlendirilen sınır şartlarının girilmesi gerekmektedir. IBOUND düzeninde her bir model ve modeldeki her bir hücrenin modelde sabit yük, aktif veya aktif olmayan hücre olduğunu belirten kodları içinde bulunduran bir matris vardır. IBOUND düzeninde aktif hücreler pozitif (+) bir değer, sabit seviyeli hücreler negatif (-) bir değer, akışın olmadığı inaktif hücreler ise sıfır (0) değeri ile tanımlanmaktadır. Yeraltı suyu akım modelleri, yeraltı suyu sistemini z yönünde katmanlar halinde modellemektedirler.

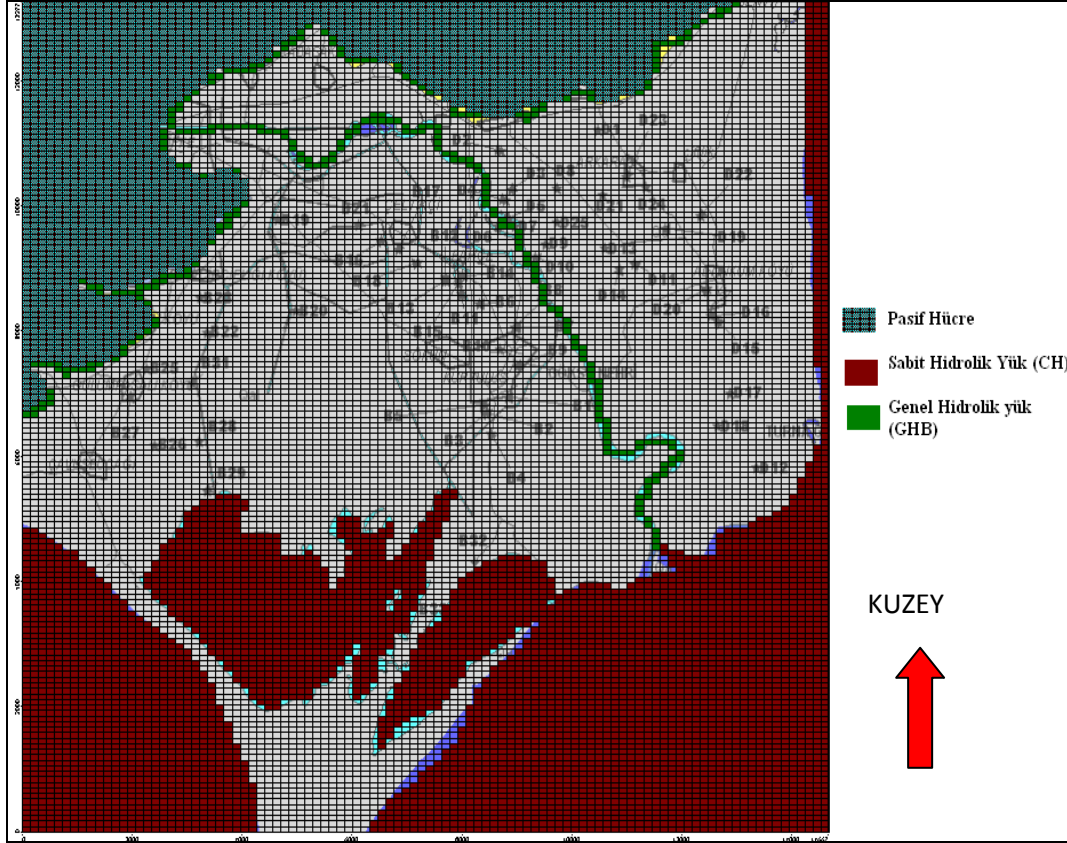
Çalışma alanı akım modeli oluşturulurken ilk önce Akdeniz kıyı şeridi, Akgöl, Paradeniz, sabit seviyeli hidrolik yük (Constant Head, CH) ve diğer sınırların tamamı ise akım olmayan (No-Flow) sınır koşulları olarak modellenmiştir. Akım olmayan pasif hücreler, hesaplarda hiçbir şekilde dikkate alınmazlar. Akış olmayan bölgenin sınırında bulunan hücrelerde modelde genel hidrolik yük (General Head Boundary, GHB) sınır şartları kullanılmıştır.

Sabit seviye hidrolik yük olarak modellenen Akgöl, Paradeniz ve Akdeniz ise, akifer sistemindeki aktif bölgenin su seviyelerine bağlı olarak akiferden beslenen veya akiferi besleyen bir alan olarak tanımlanmıştır. Beslenme havzası sınırları dışındaki hücreler aktif olmayan hücreler olarak isimlendirilmekte ve yeraltı suyu akım denkleminde katılmamaktadır.

Model alanı güneyinde yer alan Akgöl ve Paradeniz Gölleri ve Akdeniz'in başlangıç seviye değeri modellemenin temel alındığı 2008 yılı için sırasıyla 0.6 m, 0.497 m ve 0 m olarak alınmıştır [Çobaner, 2009] .

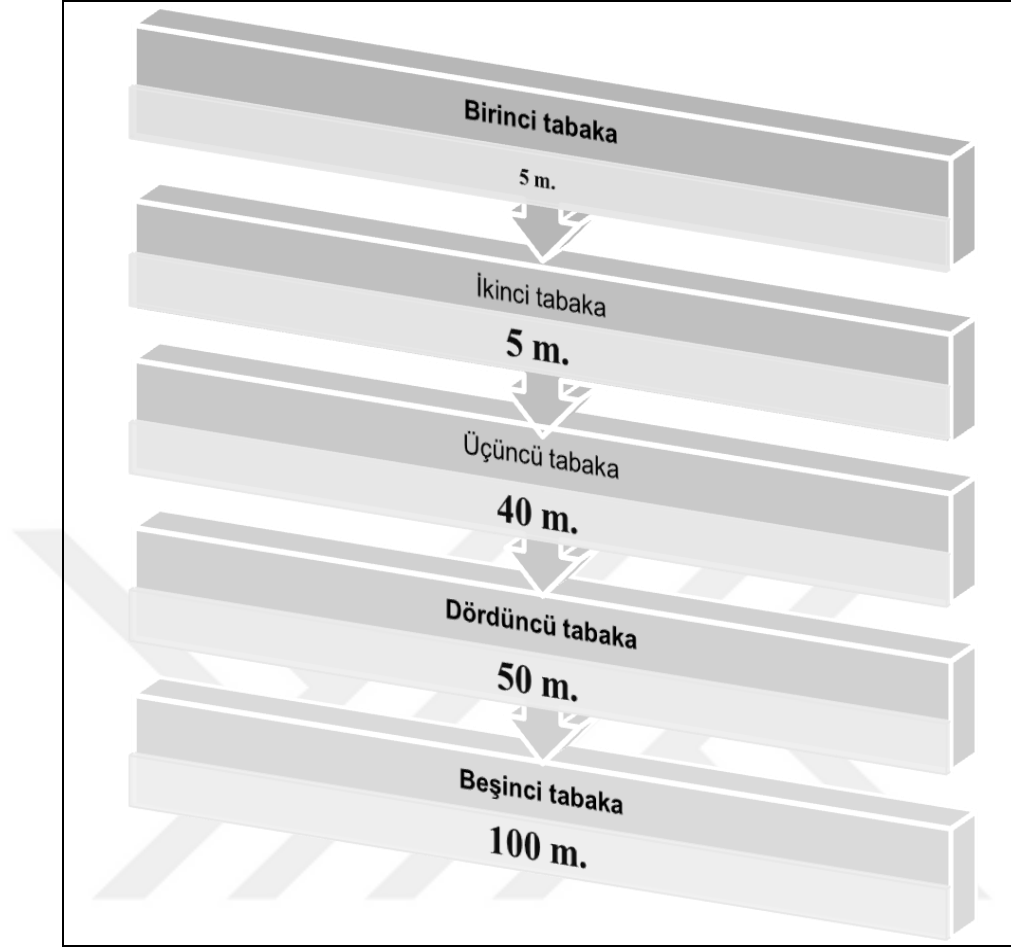
Çalışma alanı 36. UTM bölgesinde, x yönünde 10 km, y yönünde 15 km olmak üzere 155 km² alanı kapsamaktadır. Model de tüm veriler UTM koordinatları kullanılarak girilmiştir.

Göksu Deltası akiferini sonlu farklar yöntemi ile modelleyebilmek için, model alanı 100x100 m boyutunda hücrelere bölünüp, 150 satır ve 100 kolon ve toplam (200 m kalınlıkta) 5 tabakadan oluşan 75000 hücreye sahip dikdörtgen boyutlu model ağı oluşturulmuştur (Şekil 4.53).



Şekil 4.53. Göksu Deltası Akiferinin Sonlu Farklar Model Ağı

Akiferin kalınlığı jeoloji çalışmaları ve açılmış sondaj logları dikkate alınarak 200 m olarak kabul edilmiş ve akifer beş tabakalı olarak modellenmiştir. Tabaka kalınlıkları değişken olup her hücre için kalınlık değerleri farklı olarak girilmiştir. Akifer kalınlıklarının dağılımı; 1.tabaka 5m, 2.tabaka 5 m, 3.tabaka 40 m, 4.tabaka 50 m, 5.tabaka 100 m olarak kabul edilmiştir (Şekil 4.54).



Şekil 4.54. Akifer Katmanları.

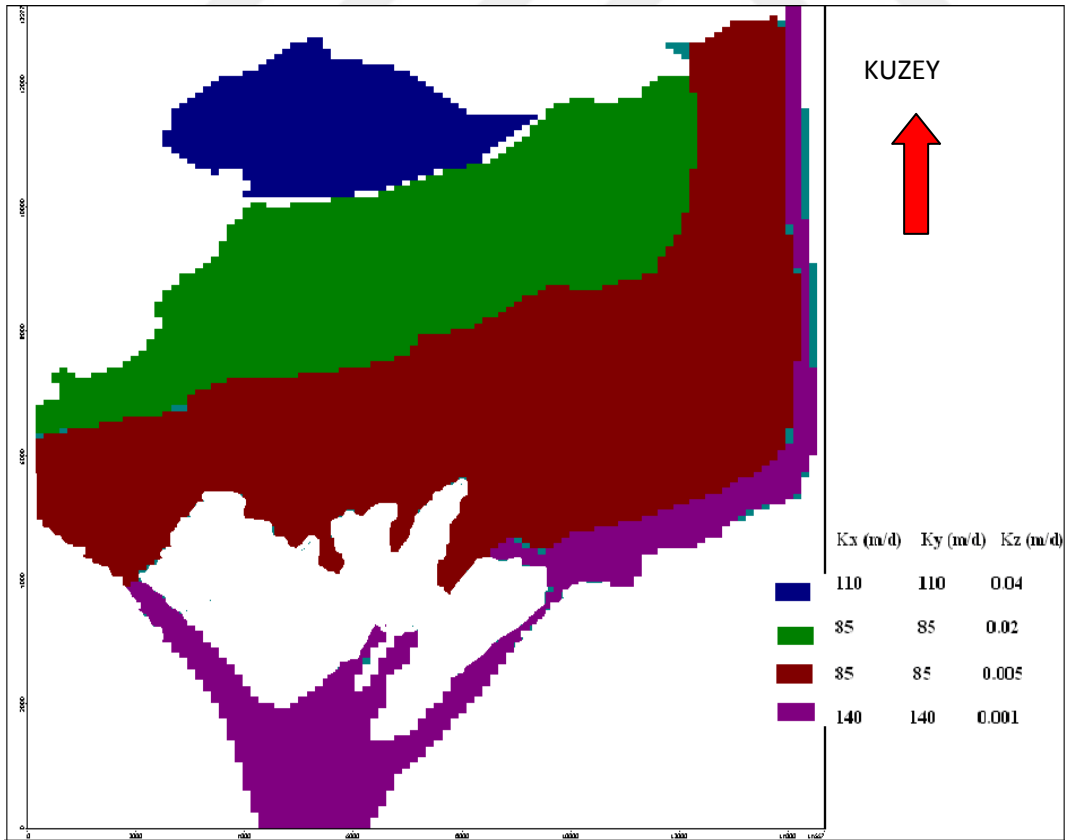
Serbest Göksu akiferinin ve sınırlarının üst seviyesi topografik haritadan seçilen yüze yakın sayıda yükseklik değerinden oluşturulan Excel formatındaki tablodan modele ithal edilmiş ve Visual MODFLOW tarafından Kriging yöntemi kullanılarak enterpolasyonu sağlanmıştır.

Yeraltı suyu beslenmesi, deltasının üst kısımlarındaki iri taneli sedimentlerin olduğu yerlerde esas olarak yağıştan ve nehir sularının infiltrasyonundan meydana gelmektedir. Bunun yanında, deltayı çevreleyen dağların kar ve yağmur suları tarafından beslenen, alüvyon tabakanın hemen bitişiğinde başlayıp altına doğru uzanan karstik kireç taşı formasyonu da Göksu Deltasındaki alüvyon akiferlerin

beslenmesine katkıda bulunmaktadır. Akifer sisteminden boşalım ise; düşük kotlarda gerçekleşen yeraltı suyundan Göksu Nehrine ve göllere doğru su çıkışı, sulama ve içme suyu temini için pompalama ile alınan suyu ve ayrıca kıyı boyunca denize doğru oluşan deşarjı kapsamaktadır.

Daha önceden yapılan çalışmalar göz önüne alınarak, depolama katsayısı her tabaka için ayrı ayrı girilmiştir. 1,2,3. tabakalar için depolama katsayısı 0.01 1/m, 4.tabaka için 0.001 1/m, 5.tabaka için 0.0001 1/m olarak kabul edilmiştir.

Modellemede kullanılan beş tabakaya ait yatay ve düşey hidrolik iletkenlik değerleri belirlenirken literatürden yararlanılmış ve x –y yönünde hidrolik iletkenlik değerleri 110-140 m/gün, z yönünde hidrolik iletkenlik değerleri de 0.04-0.001 m/gün arasında değiştiği kabullenmesi yapılmıştır. [Çobaner, 2009] (Şekil 4.55)

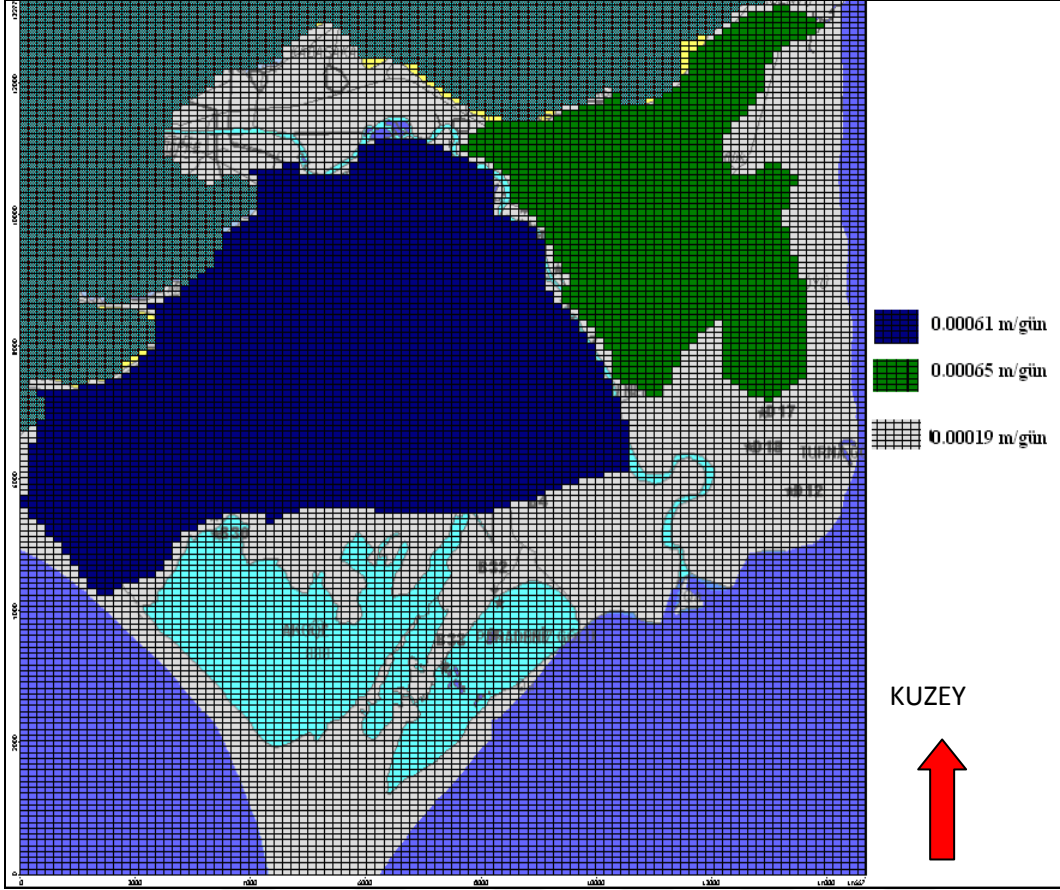


Şekil 4.55. Göksu Deltası Hidrolik iletkenlik dağılım haritası.

Dispersivite genellikle tüm ortamı tanımlayan tek bir özelliktir. Göksu deltasına ait dispersivite değeri ölçülmemiştir. Bu çalışmada literatürden kabuller yaparak, boyuna dispersivite değeri 100 m seçilmiş ve buna bağlı olarak enine yatay dispersivite değeri 10 m alınmıştır [Bedient vd.,1999]. Deltada daha önceden yapılmış olan yeraltı su seviyesi ölçüm değerleri kullanılmıştır.

Bölgede yarı-kurak Akdeniz iklimi hâkimdir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar yağışlı ve ılık geçmektedir. İklim parametrelerinin çoğu Akdeniz'in normal sistemine uygunluk göstermektedir. Bölgenin İklim İstatistikleri (1931–2003) Çizelge 2.5.'de verilmiştir.

Yağmurlar yeraltı suyu için önemli, bir kaynaktır. Yağmurlu mevsimlerde yeraltı su seviyesinde artışlar gözlenmektedir. Çalışma alanı beslenme (recharge) verileri V.HELP ile yapılan modelleme sonuçları kullanılmıştır. Buna göre; yıllık ortalama yeraltı suyu net beslenme miktarı 72.72 mm (0,00019 m/gün) olarak alınmıştır. Deltanın ürün deseni göz önüne alınarak sulamadan kaynaklı beslenme için literatürde daha önceden yapılan çalışma sonuçları kullanılarak, sağ sahil 0,00065 m/gün, sol sahil 0,00061 m/gün olarak alınmıştır [Çobaner, 2009] Şekil 4.56)



Şekil 4.56. Göksu Deltası yeraltı suyu beslenme dağılım haritası

4.4.2. Yeraltı Suyu Taşınım Modeli

Çalışma alanında ilk önce Visual MODFLOW kullanılarak akım modeli oluşturulmuştur. Ardından çalışma alanında ki yeraltı sularında ciddi bir kirlenici kaynağı olan nitratın taşınımını modellenmiştir.

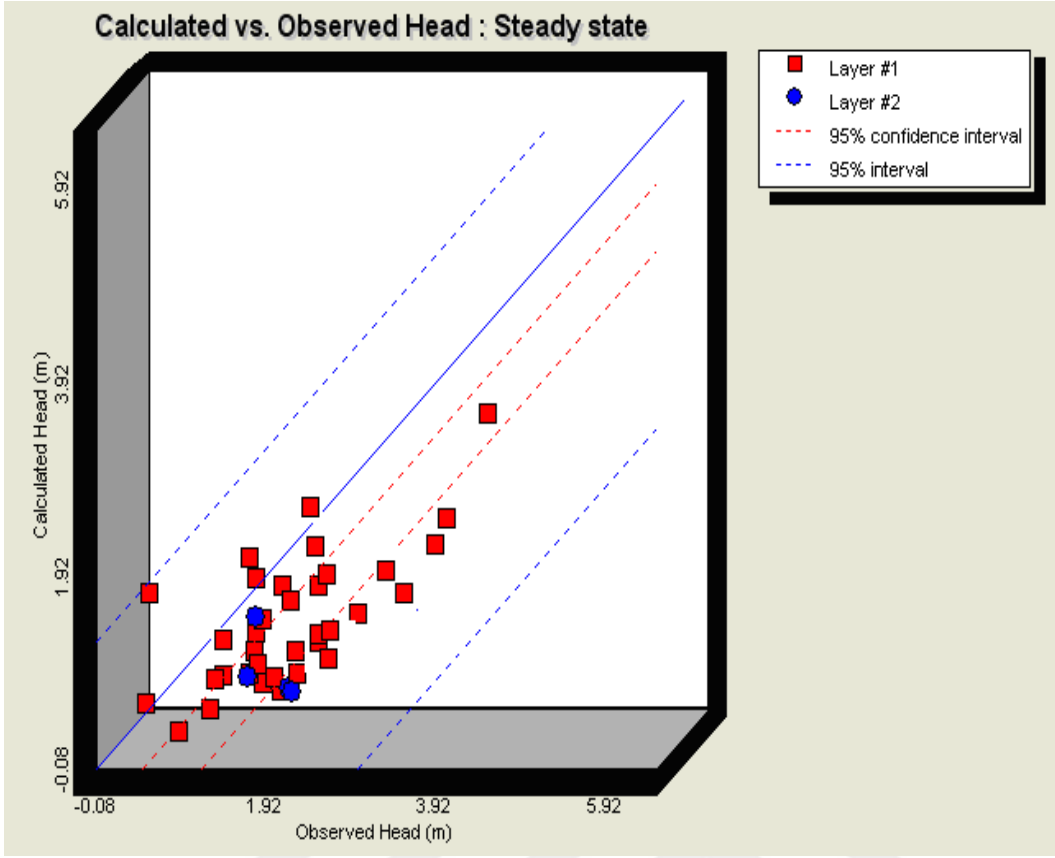
Modelde 48 adet pompaj kuyusu için koordinat, derinlik, pompaj miktarı verilerini içeren Excel formatındaki tablodan modele aktarılmıştır. Ayrıca alanda nitrat taşınım modeli için nitrat konsantrasyonları bilinen 10 adet konsantrasyon gözlem kuyusu ve 38 adet kuyunun verileri Excel formatındaki tablodan modele aktarılmıştır. Bilinmeyen noktaların tahmini değerleri de Visual MODFLOW tarafından Kriging yöntemi kullanılarak enterpolasyonu sağlanmıştır.

Çalışma alanında taşınım modeli oluştururken Visual MODFLOW programında mevcut olan MT3DMS modülü kullanılmıştır.

Modelin kalibrasyonu

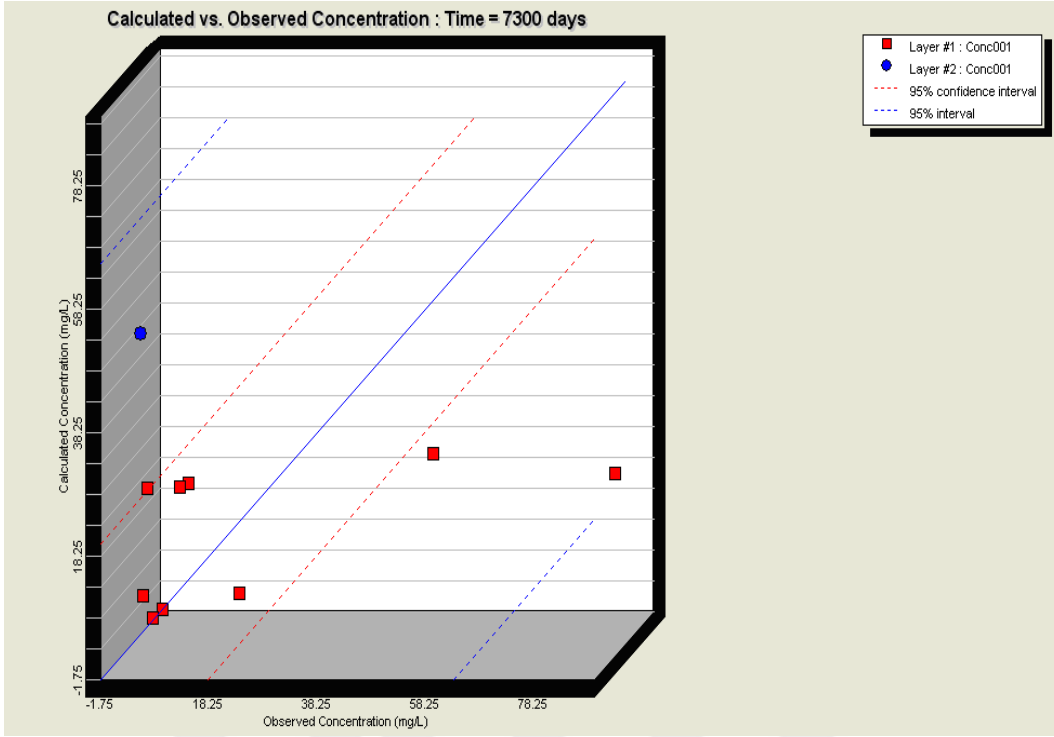
Modellerin kalibrasyonu, kuyuların bulunduğu hücrelerde gözlenen yeraltı su seviyeleri ile model tarafından hesaplanan yeraltı su seviyelerinin karşılaştırılması esasına dayanmaktadır. Gözlenen ve hesaplanan yeraltı su seviyeleri arasındaki yaklaşımları sağlayabilmek için kalibrasyon parametresi olarak genellikle yatay ve düşey hidrolik iletkenlik değerleri kullanılmaktadır [Lubczynskia ve Gurwinb 2005, Catherine ve Doherty 2006, Soyaslan 2004].

Kuyularda ölçülen su seviyeleri ile model tarafından hesaplanan hidrolik yükler oldukça iyi bir korelasyon sağlamaktadır (Şekil 4.57), bu durum bize akım modelinin doğru olduğunun göstermektedir.



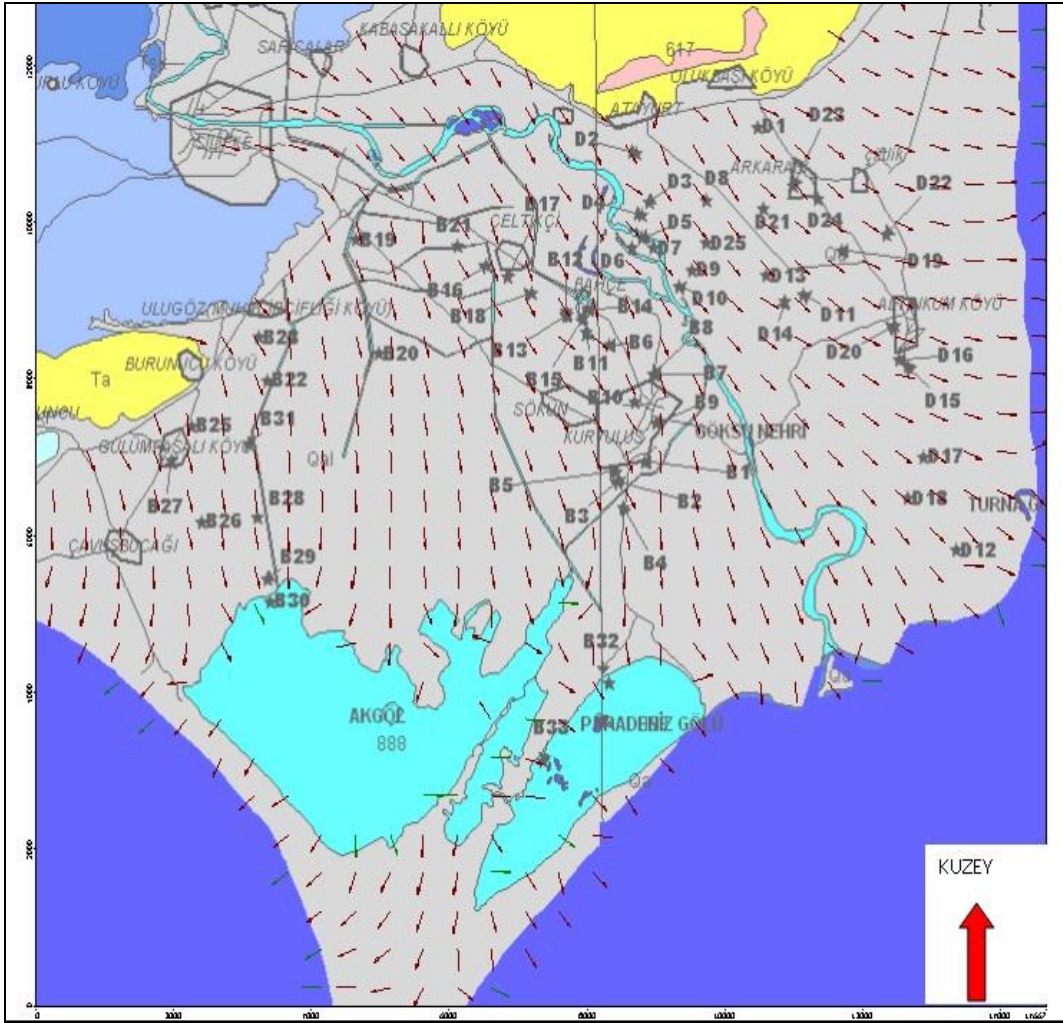
Şekil 4.57. Model hidrolik yükler kalibrasyon sonucu.

Alanda nitrat taşınımı için oluşturulan taşınım modelinin kalibrasyonu için ise kuyularda ölçülen nitrat konsantrasyonları ile model tarafından hesaplanan nitrat konsantrasyonlarının güvenli bölgeyi aşmadığı görülmüştür. Bu da bize oluşturulan taşınım modelinin doğru olduğunu göstermektedir. (Şekil 4.58)



Şekil 4.58. Model nitrat konsantrasyonu kalibrasyon sonucu.

Visual MODFLOW akım modelinin çalıştırılması sonucunda, Gökusu deltasında yeraltı suyu akımı, kuzeyden güneye doğru olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 4.59). Bu sonuçlar, elde edilen ve tahmin edilen pompaj miktarına göre oluşturulmakla beraber, kıyıya yakın yerlerde deniz suyu girişiminin tatlı- tuzlu su yoğunluk farkının, modelin 200 m kalınlıkta akiferde çalıştırılmasından dolayı, beklenen şekilde olmadığı tespit edilmiştir. Yoğunluk farkının 200 m den daha derinde olduğu , deltada daha önceden yapılan çalışmalar göz önüne alınarak, düşünülmektedir.

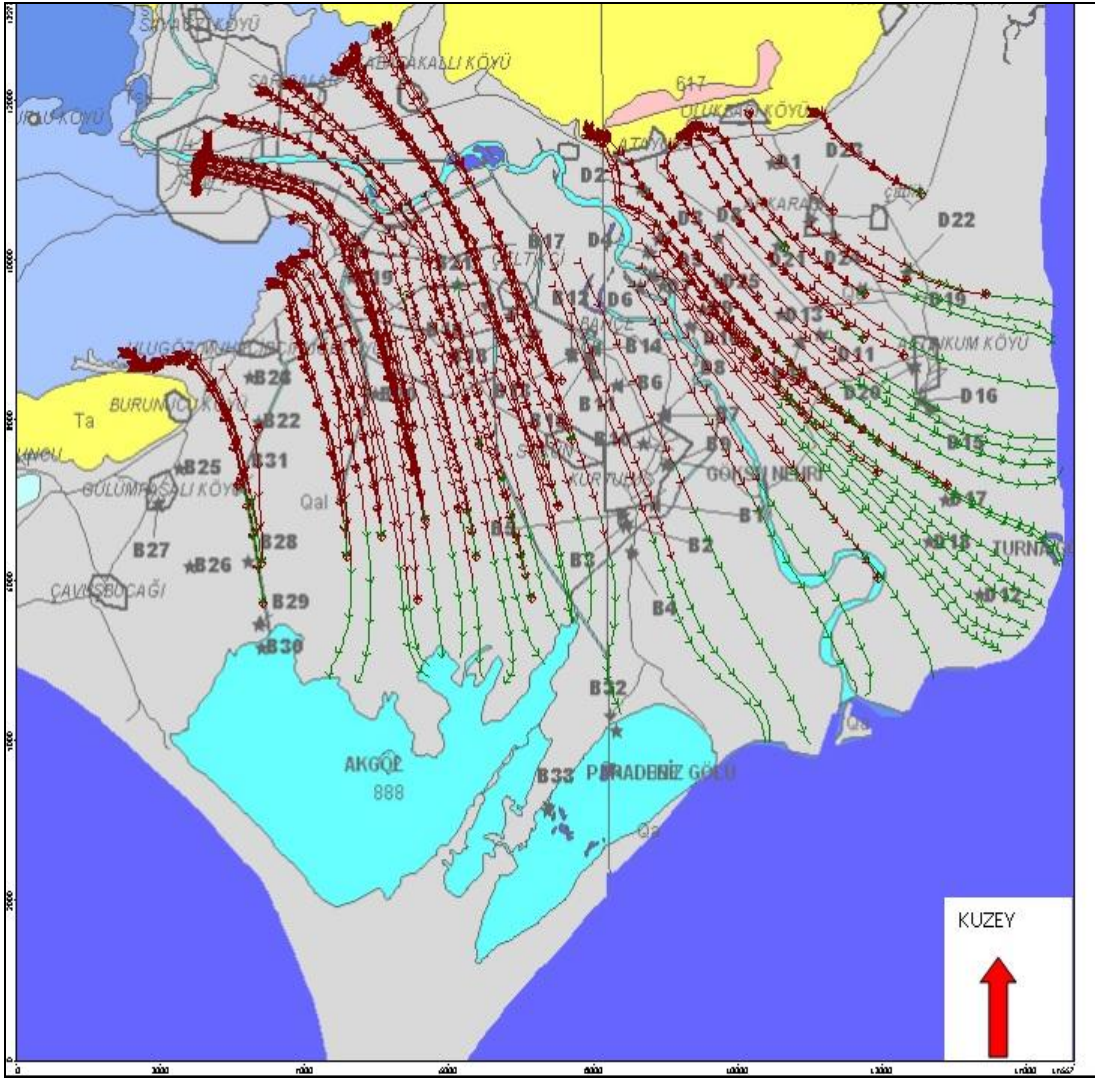


Şekil 4.60. Göksu deltasında yeraltı suyu akım hız vektörleri

Yeraltı suyuna karışan kirlenici başlıca adveksiyon ve hidrodinamik dispersiyon ile taşınırlar. Kirlenicilerin adveksiyon ile taşınımı için öngörülerde bulunabilmenin yolu yeraltı suyu akım yollarının biliniyor olması gerekir.

Visual Modflow içindeki PATH modülü ile bu akım yolları bulunabilmektedir. Şekil 4.60'da, deltada yoğun olarak tarım yapılan noktalara

konulan partikülleri izleme yöntemi ile 5 yıl önce nitrat kirliliğinin muhtemel lokasyon sonucunu göstermektedir.



Şekil 4.61. Göksu Deltası akiferinde 5 yıl öncesi için nitrat taşınım yolları benzeştirme sonuçları (MODPATH)

Şekil 4.59 incelendiğinde nitrat kirliliğinin Silifke başta olmak üzere deltanın üst sınırında bulunan yerleşim yerlerinden, yeraltı suyu akımına paralel olarak delta içinde ilerlediğini ortaya çıkmaktadır.

Yani deltada var olan nitrat kirliliğinin kaynağı Şekil 4.59 de açıkça görüldüğü gibi sadece tarımsal aktivitelerden değil, yerleşim yerlerinden de kaynaklı olduğudur. Bu tez kapsamında Deltada nitrat kirliliğinin kaynağını araştırmak için yapılan Azot-15 izotop sonuçları da bunu desteklemektedir. İzotop sonuçlarına göre de yerleşim yerlerinden alınan kuyu suyu örneklerinde nitrat kirliliğinin baskın kaynağı kanalizasyon olarak ortaya konulmuştur. Delta için oluşturan ürün deseni haritası da göz önüne alındığında, tarımsal faaliyetler Silifke şehrinin alt kısmından başladığı ortaya konulmuştur. Yer altı suyu kirlletici taşınım modeli sonucuna göre de 5 yıl önce kirlletici Silifke ve çevre yerleşim yerlerinden başladığı dikkat çekmiştir. Bu da nitrat kirliliğinde kanalizasyonun etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Buna bağlı olarak deltada yılın on iki ayı yapılan tarımsal aktivitelerinde yeraltı suyunda nitrat ve ağır metal kirliliğine katkısı göz ardı edilemeyeceği üç dönem rastlanan azot konsantrasyonları ve gübre\ ağır metal karşılaştırma sonuçları ile kanıtlanmaktadır.

Model, izotop ve 3 dönem yapılan nitrat dağılım haritaları değerlendirildiğinde; Deltanın hemen hemen her noktasında nitrat iyonuna rastlandığı ancak denize yakın yerleşim yerlerinde nitrat konsantrasyonunda maksimum değerlere ulaşıldığı görülmüştür. Bunu deltanın üst kotlarından (yerleşim yerleri ve tarımsal aktivitelerden) gelen nitrat iyonu, yeraltı suyu akım yönüne paralel, alt kotlarda bulunan yerleşim merkezlerinden ve tarımsal aktivitelerden oluşan nitrat iyonuna eklenerek en yüksek konsantrasyona ulaştığını söyleyerek açıklayabiliriz. Başka bir deyişle deltanın üst kotlarından gelen nitrat iyonu, yeraltı suyu akım yönü doğrultusunda, alt kotlarda birikerek bu bölgelerde maksimum konsantrasyona ulaşmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında çalışmaya başlamadan önce çalışmanın amacına en uygun olan kuyuların seçimi, alan hakkında literatürdeki veriler baz alınarak, alanda birebir görüşmeler ve yerinde tespit çalışmaları yapılmıştır. İlçe Tarım Müdürlüğü teknik elemanları, çiftçiler ve zirai İlaç bayileri ile yapılan görüşmelerde; Deltada araştırmalar sonucunda ürün desenine göre (narenciye, çilek, sera, buğday, çeltik, mısır, yer fıstığı ve susam) tarımda kullanılan pestisit ve gübre kullanımına bağlı bilgiler toplanmış , tez boyunca elde edilen veriler değerlendirilirken bu bilgiler de kullanılmıştır.

Göksu Delta'sı yerüstü ve yeraltı kaynakları bakımından oldukça zengin bir bölge olmakla birlikte, bu tez kapsamında serbest akifer içinde dolaşan yeraltı suyunun mevcut ve gelecekteki kirlilik durumu araştırılmıştır. Bunun için deltadan 3 dönem olmak üzere örnekler alınmış, yerinde (*elektriksel iletkenlik (EC), pH, tuzluluk(sal) ve sıcaklık (T)*) ve laboratuvarında (*nitrit, nitrat, amonyum, fosfat, Fe, Cu, Cr, Mn, Ni, Zn, Cd, Pb, Ca²⁺, K⁺, Na⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, Cl⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻, ¹⁵N, ²H ve ¹⁸O*), fiziksel -kimyasal parametreleri araştırılmıştır.

Bu çalışma ile; yeraltı suyu akım yönüne uygun olarak belirlenmiş kuyulardan alınan örneklerde, azot ve diğer kirleticileri konsantrasyonlarının belirlenmesi ve sudaki izotop analizlerinin sonuçları ile fosseptik ve tarımsal aktivitelerin yeraltı suyu üzerindeki olumsuz etkilerini belirleyerek, azotun kirleticili kaynağı ortaya konulmaya çalışılmıştır. Visual MODFLOW yazılımı ile yeraltı suyu akım yönü ve nitrat iyonunun yeraltı suyunda taşınımı modellenmiştir.

Çalışma alanındaki yüzey ve yeraltı sularından alınan örneklerin tümünde yapılan analiz sonuçları koordinatlarına uygun olarak bir Coğrafi Bilgi Sistemi

(CBS) yazılımı olan MapInfo 9.5 programı kullanılarak , Coğrafi Bilgi Sistemine aktarılmıştır. Koordinatlara göre oluşturulan bilgi sistemi yardımıyla, tematik haritalar oluşturulmuş ve kirliliğin boyutları ve kaynakları ortaya konulmuştur. Oluşturulan Coğrafi bilgi sistemi ile, bilgiye erişimi hızlandırılmış ve görsel hale getirilerek yönetimde doğru, hızlı karar vermeye olanak sağlamıştır.

Visual MODFLOW ile yeraltı suyunun akım ve kirlenimi taşınımını modelleyebilmek için, gerekli olan hidrolojik parametreler ve yeraltı suyu beslenme miktarı Visual HELP modeli kullanılarak hesaplanmıştır.

HELP ile yapılan modelleme sonucunda Silifke Meteoroloji Müdürlüğüne ait bölgenin uzun yıllar iklim istatistiklerine göre yıllık ortalama; 12.08 mm yüzey akış, 372,15 mm evapotranspirasyon ve 72,72 mm yeraltı suyu beslenmesi hesaplanmıştır.

Deltadan yağışlı mevsim de alınan **13** yeraltı, **5** yüzey suyu olmak üzere toplamda **18** adet numune de suyun fasiyesini tanımlayan temel anyon ve kation analizleri yapılmış, elde edilen sonuçlar AquaChem 5.1 yazılı kullanarak değerlendirilmiştir.

Delta da alüvyon akiferden üretim yapan kuyu sularının kimyasal karakteristikleri deniz suyu ile kirlenmemiş bölgelerde **Ca-Mg-HCO₃** iken (B10, B11, B25, B7) özellikle deniz suyu girişimi nedeni ile birçok kuyu da suyun kimyasına **Na** ve **Cl** iyonlarının da eklendiği görülmüştür. Yüzey suları içinde de Akgöl'ün denizden etkilendiği ancak Paradeniz'in deniz suyu ile birebir aynı karakterde olduğu görülmüştür.

Majör iyon analiz sonuçları, MapInfo 9.5 CBS programı kullanılarak yüzey ve yeraltı sularının Pie (pasta) diyagramlarını içeren tematik harita

oluşturulmuştur. Haritalar incelendiğinde Paradeniz'in deniz ile benzer içeriğe sahip olduğu açıkça görülmektedir. Kuyu sularında ise bikarbonat iyonunun baskın iyon olduğunu, hemen hemen her kuyuda klorür iyonuna rastlandığı görülmektedir. Bu da bize yeraltı sularının tuzlanma tehlikesi altında olduğunu göstermektedir.

5.1. YERALTI SUYU AĞIR METAL İÇERİKLERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışma alanında yeraltı sularında ki ağır metallerin , tarımsal faaliyetlerden kaynaklı olup olmadığını tespit etmek amacı ile, alanda en çok kullanılan gübrede (amonyum-nitrat) de analizler yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırma için AquaChem programına majör iyon analiz sonuçlarının yanı sıra, deltadan 3 dönemde alınan 58 yeraltı suyu ve alandan alınan gübrenin (amonyum-nitrat) ağır metal analiz sonuçları da girilmiştir. Bu sonuçlar her dönem için Schoeller yarı logaritmik diyagrama aktarılmıştır. Schoeller diyagramı, ağır metal konsantrasyonları açısından deltadaki kuyu sularının, gübreleme faaliyetlerinden etkilendiğini göstermek amacı ile oluşturulmuştur.

Schoeller diyagramları incelendiğinde, 3 dönemde de Deltadan alınan gübre ile yeraltı suyu ağır metal değerleri birbirine paralel eğriler oluşturmaktadır. Bu da bize demir, mangan, nikel, çinko iyonları açısından karşılaştırıldığında yeraltı sularının gübreden etkilendiğini göstermiştir.

Ayrıca 3 dönem için de yeraltı ve yüzey sularından alınan örneklerde yapılan ağır metal analizleri, Microsoft Excel programı kullanılarak grafikler oluşturulmuş ve sonuçlar Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği -Tablo 1 - I.Sınıf Su ile

Dünya Çevre Koruma Ajansı (EPA) sınır değerlerine göre karşılaştırılmış, sınır değerleri aşan kuyular tespit edilmiştir (Çizelge 5.1- 5.2- 5.3).

Çizelge 5.1. Her dönem için , örnek alınan kuyularda min./mak. ağır metal konsantrasyonları.

Sınır Değer Konsantrasyon mg/L	1.Dönem		2.Dönem		3.Dönem	
	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.
Fe	0.0000	3.5200	0.0000	1.4100	0.0011	1.1300
Mn	0.0010	0.7600	0.0000	0.2885	0.0001	0.2160
Cu	0.0000	0.0030	0.0000	0.0002	0.0000	0.0016
Cr	0.0000	0.0040	0.0000	0.0055	0.0000	0.0070
Ni	0.0000	0.1320	0.0002	0.0092	0.0005	0.0300
Zn	0.0000	4.4600	0.0002	2.1700	0.0017	1.9490
Cd	0.0000	0.0338	0.0000	0.0061	0.0003	0.0110
Pb	0.0000	0.0105	0.0000	0.0081	0.0020	0.0280

*0.0000 : dedeksiyon limiti altı

Çizelge 5.2. SKKY -I.Sınıf Su Sınır değerini aşan kuyular.

Sınır Değer Konsantrasyon mg/L	1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem
Fe 0.3 mg/L	D1,D9,D21,D20,D16,D2,B6,B10	D21,D20,D16,D15,B6	D1,D16,D14,B14,B5,B7,B9
Mn 0.1 mg/L	D1,D21,D22,D19,D20,D16,D2,D3, D7,D9,D13,B26,B13,B14,B4	D21,D19,D17,D2,D6,D7, B14,B7,B11,B10	D19,D2,D7,B14,B7,B10
Cu 0.02 mg/L	----	-----	-----
Cr 0.02 mg/L	-----	-----	-----
Ni 0.02 mg/L	D16,B26,B14	-----	D7
Zn 0.2 mg/L	B26,B14,D16	B14,B26,B19,B20, D23,D19,D5	D2,D5,D8,B28,B26,B19,B20, B14,B7,B17

Çizelge 5.2 devamı. SKKY -I.Sınıf Su Sınır değerini aşan kuyular.

Cd 0.003mg/L	D17,18,B26,B29,B5,B32	D17	B7,B33,B32
Pb 0.001 mg/L	-----	B14	B24,B12,B32,B33

*----- : sınır değeri bulunmamaktadır.

Çizelge 5.3. EPA Sınır değerini aşan kuyular.

Sınır Değer Konsantrasyon mg/L	1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem
Fe	-----	-----	-----
Mn 0.0015 mg/L	(D10,B25,B21,B8,B3) dışında ki tüm kuyular	(D23,D24,D4,D25,D10,B25,B28,B31,B8,B3,B32) dışında ki tüm kuyular	D23,D24,D25,D10,B26,B28,B31,B17,B8
Cu 1.13 mg/L	-----	-----	-----
Cr 0.02 mg/L	-----	-----	-----
Ni 0.02 mg/L	-----	-----	-----
Zn 0.2 mg/L	-----	-----	-----
Cd 0.003mg/L	D17,D18,B26,B29,B5,B32	D17	B7,B33,B32
Pb 0.001 mg/L	-----	-----	B24,B2,B18,B32

*----- : sınır değeri bulunmamaktadır.

Çizelge 5.3' de sınırı aşan kuyuların buldukları yerler, delta ürün deseni haritası ve alanda ki çiftçilerle yapılan birebir görüşmeler sonucu elde edilen veriler göz önüne alınarak değerlendirilmeler yapılmıştır.

Demir iyonunun diğer kuyulara oranla yoğun olarak bulunduğu D1, D21, D9, D16, D20, D2, D15, B6, B10, nolu kuyular doğuda Arkarası, Altinkum batıda Kurtuluş, Sökün, Bahçe, köylerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Maksimum demir iyonu konsantrasyonuna 1.dönem de rastlansa da diğer dönemlere oranla demir iyonu konsantrasyonu daha düşük çıkmıştır. Demir iyonunun yoğun olduğu bölgeler Şekil 2.23 ile değerlendirilirse, narenciye, çilek, çeltik üretiminin yapıldığı bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Delta da yapılan araştırmalar sonucunda aylara göre kullanılan gübre ve pestisit miktarları incelendiğinde kasım ayında; narenciye üretimi için $FeSO_4$, çilek üretimi için mart ayında demir gübresi kullanılması bu dönemde kuyularda demir miktarının artışı açıklamaktadır.

Göksu deltası topraklarında yapılan araştırmalarda toprakların organik madde içeriğinin çok düşük olduğu ortaya konulmuştur [Göksu Deltası Yönetim Planı, 2009]. Ağır metaller, topraktaki organik maddelerin fonksiyonel gruplarına bağlanarak toprakta tutunurlar. Organik maddenin azlığına bağlı olarak Göksu deltası topraklarında ağır metallerin toprakta tutunması pek mümkün olmayacaktır. Böylece, kış mevsiminde alınan 1.dönem örneklerinde ki ağır metaller, yaz ve ilkbahar aylarında toprakta biriken ağır metallerin yağmur suyu ile toprakta yıkanarak yeraltına geçmesinden kaynaklanmaktadır.

Kuyu sularında üç dönem ağır metal sonuçları incelendiğinde, tüm metallerin maksimum konsantrasyona 1.dönemde ulaşmış, 3.döneme doğru konsantrasyonun azaldığı tespit edilmiştir. Deltada kullanılan kimyasal ve gübrelerin aylara göre dağılımı incelendiğinde, yaz aylarından başlayarak sonbahara yoğun olarak gübre ve tarımsal ilaç kullanıldığı görülmektedir.

5.2. YERALTI SUYU KİRLİTİCİ PARAMETRE SONUÇLARI

3 dönemde yeraltı sularında; yerinde yapılan sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik(EC), tuzluluk (sal), pH ve laboratuarda yapılan nitrit, nitrat, amonyum fosfat analiz sonuçları Microsoft Excel programı kullanılarak Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği I Sınıf Su sınır değerleri ve EPA İçme suyu standartları ile karşılaştırmak amacıyla grafiklere aktarılmıştır. Ayrıca, MapInfo 9.5 Coğrafi Bilgi Sistemi programı yardımıyla bir bilgi sistemi oluşturup, kirletici parametrelerin mekân ve zaman olarak değişimini gösteren tematik haritalar yardımı ile değerlendirilmiştir.

Değerlendirme sonuçlarına göre ;

Göksu deltası yeraltı sularından alınan numunelerde pH, 1.dönem 7,04 ile 8,47, 2.dönem 7,16 ile 8,47 , 3.dönem 7.10 ile 8.34 arasında değişmektedir. Analiz sonuçlarına göre bölgenin jeolojik yapısına paralel olarak, yeraltı sularının bazik özellikte olduğu ve SKKY-1.sınıf su ile EPA içme suyu standardında verilen 6,5-8,5 pH aralığını aşmadığı belirlenmiştir.

Sıcaklık değerleri değerlendirildiğinde ise Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo 1 de belirtilen I.sınıf su kalite sınırını 3.dönemde 23 adet kuyunun aştığı tespit edilmiştir. 1.dönemde 15,1 °C - 21,7 °C, 2.dönemde 16,3 - 23,8 °C, 3.dönemde 20,9°C -29,8 °C arasında değiştiği ortaya konulmuştur.

Göksu deltası yeraltı suyundan alınan numunelerde Elektriksel İletkenlik (EC) değeri, 1.dönem 459 ile 5.240 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 2.dönem 451 ile 5.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 3.dönem 483 ile 5.830 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir.

Elektriksel İletkenlik (EC) değerleri Çizelge 5.10'da *Kullanılamaz Sınıfı* sınır değeri olan 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'e göre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye göre, 1.dönemde 2 kuyu (D17, B33) , 2.dönemde 2 kuyu (D17, B33), 3.dönemde

2 kuyu (D17, B33) sınır değeri aştığı her üç dönemde de D18 ve B32 nolu kuyularında sınır değere çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Sınırı aşan kuyuların EC değerleri yüksek olan Deniz ve Paradeniz gölü yakınlarında ki kuyular olduğu hazırlanan tematik haritalarla ortaya çıkmaktadır.

Göksu deltası yeraltı suyundan alınan numunelerde tuzluluk değerleri, 1.dönem 0 ile 2,8, 2.dönem 0 ile 3, 3.dönem 0 ile 3.2 arasında değişmektedir.

Tuzluluk değerleri, Tatlı Su Sınır Değeri olan 1'e göre değerlendirildiğinde, her üç dönemde de 4 kuyu (D17,D18,B32,B33) sınır değeri aşmıştır. Elektriksel iletkenlik değerlerinin yüksek olduğu noktalara paralel olarak tuzluluk değerlerinde ki artış değerlendirildiğinde yine Deniz ve Paradeniz gölü etrafında ki kuyularda tuzluluk değerinin arttığı ortaya konulmuştur.

Göksu deltası yeraltı suyundan alınan numunelerde nitrit azotu, 1.dönem 0 ile 0,04 mg/L, 2.dönem 0 ile 0,03 mg/L, 3.dönem 0 ile 0.04 mg/L arasında değişmektedir. Nitrit azotu değerleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) 1.sınıf su sınır değeri olan 0.002 mg/L ve EPA içme suyu standardı 1 mg/L göre karşılaştırılmıştır. Bu değerlendirme sonucuna göre, 1.dönemde 5 kuyu (D16, D18, D15, B1, B5), 2.dönemde 5 kuyu (D18, D14, B23, B1, B5), 3.dönemde 13 kuyu dışındaki (D16, D6, D12, D13, D14, D15, B25, B27, B26, B28, B30, B31, B22) tüm kuyuların SKKY sınır değerini aştığı tespit edilmiştir.

Göksu deltası yeraltı suyundan alınan numunelerde amonyum azotu değerleri, 1.dönem 0 ile 10,4 mg/L, 2.dönem 0 ile 3,2 mg/L, 3.dönem 0 ile 5.29 mg/L arasında değişmektedir.

Amonyum azotu değerleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği 1 sınıf su (SKKY) 0,2 mg/L göre karşılaştırılmıştır. Bu değerlendirme sonucuna göre, 1.dönemde 12 kuyu (D16, D20, D17, D18, D11, D15, B6, B5, B1, B2, B10, B9),2.dönemde 9 kuyu (D19, D20, D17, D18, D11, B5, B2, B1, B9), 3.dönemde 14 kuyu (D17, D18, D7, D8, D25, D9, D19, D15, B16, B17, B12, B14, B2, B5) sınır değeri aştığı tespit edilmiştir (Şekil 3.16, Şekil 3.17). Amonyum iyonunun diğer kuyulara oranla yoğun olarak bulunduğu D17, D18, D11, D15, D16, D20, B1, B2, B5 nolu kuyular doğuda Altinkum ve çevresi, batıda Kurtuluş, Sökün köylerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir .Şekil 2.23 tarımsal ürün deseni haritası incelendiğinde yukarıda bahsedilen kuyuların bulunduğu bölgelerde narenciye, çilek, sera, özellikle batı kısmında ki kuyularda çeltik tarımının yapıldığı noktalar olduğu tespit edilmiştir. Alanda aylara göre kullanılan gübre ve pestisit çizelgelerine bakıldığında ise bu ürünlerde 3 dönemde de örnek alınan aylar da (şubat-kasım-eylül) yoğun olarak amonyum sülfatlı/nitratlı gübre kullanıldığı görülmektedir.

Göksu deltası yeraltı suyundan alınan numunelerde nitrat azotu, 1.dönem 0 ile 27 mg/L , 2.dönem 0 ile 19,8 mg/L, 3.dönem 0 ile 16,10 mg/L arasında değişmektedir.

Nitrat azotu değerleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği 1 sınıf su (SKKY) 5 mg/L ve EPA 10 mg/L ye göre karşılaştırıldığında; 1.dönemde 9 kuyu SKKY sınır değerini (D2, D8, D9, D10, D15, B27, B23, B24, B3, B4), 6 kuyunun (D8, D10, D15, B23, B24, B3, B4) da EPA sınır değerini aştığı tespit edilmiştir.

2.dönemde 8 kuyu SKKY sınır değerini (D8, D9, D10, D15, B24, B3, B4), 4 kuyunun (D8,D10,D15,B3,B4) da EPA sınır değerini aştığı tespit edilmiştir.

3. dönemde 7 kuyu SKKY sınır değerini (D8, D9, D25, D10, B27, B22), 3 kuyu (D8, D10, B22) EPA sınır değerini aştığı tespit edilmiştir.

Topraklar genel olarak eksi yüke sahip olmakla birlikte, pozitif yük miktarı toprağın pH, organik madde ve kil içeriği ile ilgilidir. Delta toprakları alkali topraklar olup, organik madde içerikleri de oldukça düşüktür. Yani delta topraklarına giren eksi yüke sahip bir kirleticili (örneğin nitrat) , doymamış zondan serbest bir akifer olması dolayısıyla ile doymuş zona (akifere) taşınımı mümkün olacaktır. Yani eksi yüklü bir kirleticinin, delta topraklarında tutunumu olmayacaktır.

Delta topraklarında , nitrat iyonunun yeraltı suyuna taşınım miktarı ; yüzeyde ki ürünün cinsine, nitrat içeren gübrenin uygulama miktarına ve bitkinin gübreyi kullanımına bağlıdır. Kış ve bahar aylarında bitkilerin büyümesi yavaşlar, buna bağlı olarak da topraktan bünyesine aldığı nitrat miktarı azalır ve toprakta biriken nitratın, yağmur sularının da etkisiyle yeraltı suyuna geçişi artmaktadır.

Nitrat iyonunun diğer kuyulara oranla yoğun olarak bulunduğu D2, D9, D8, D10, D15, B3, B4, B10, B14, B15, B23, B24, B27 nolu kuyular doğuda Göksu nehri kuzey doğusu ile Altinkum arasında, batıda Kurtuluş, Sökün, Bahçe, Ulugöz, Gülümpeşalı köylerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. 1.dönem nitrat iyonu sonuçları, 2.ve 3. döneme oranla her kuyuda olmasa da baskın olarak daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi olarak da 1.dönemde (şubat ayı) alandaki bitkilerin büyümesi yavaşladığından nitrat alımı azalmış ve toprakta biriken nitrat yağış ve sulama suları ile yeraltı suyuna taşındığı düşünülmektedir.

Nitrat iyonunun yoğun olduğu bölgeler tarımsal ürün deseni haritası (Şekil 2.23) ile değerlendirilirse, narenciye üretiminin yapıldığı bölgelerde artış olduğu görülmektedir. Alanda aylara göre kullanılan gübre ve pestisit miktarlarını

gösteren çizelgeler incelendiğinde de narenciye üretiminde Kasım (2.dönem) ayında meyvenin irileşmesi için verilen KNO_3 gübre, bu dönemde bazı kuyularda da nitratın artışı açıklanmaktadır.

Göksu deltası yeraltı suyundan alınan numunelerde fosfat değerleri, 1.dönem 0 ile 2,48 mg/L, 2.dönem 0 ile 6,4 mg/L, 3.dönem 0 ile 5,9 mg/L arasında değişmektedir .

Fosfat iyonunun diğer kuyulara oranla yoğun olarak bulunduğu D24, D17, D6, D7, D1, D19, D20,B1, B3, B4, B6, B7,B8, B9, nolu kuyular doğuda Göksu nehri kuzey doğusu ile Arkarası, Altinkum arasında, batıda Kurtuluş, Sökün, Bahçe, köylerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. 1.dönem fosfat iyonu sonuçları, 2.döneme ve 3.döneme oranla her kuyuda olmasa da baskın olarak daha düşük çıkmıştır. Fosfat iyonunun yoğun olduğu bölgeler alanın ürün deseni haritası (Şekil 2.23) ile değerlendirilirse, narenciye, çilek, sera, buğday, çeltik üretiminin yapıldığı bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Alanda aylara göre kullanılan gübre ve pestisit çizelgelerine bakıldığında (ikinci ve üçüncü dönem örnekleme) eylül ayından kasım ayına; çilek üretimi için fosforlu gübre ve N-P-K dengeli gübre, çeltik ve buğday üretimi için N-P-K dengeli gübre kullanılması bu dönemde kuyularda fosfat miktarının artışı açıklanmaktadır.

5.3. YÜZEY SUYU KİRLİTİCİ PARAMETRE SONUÇLARI

Göksu deltası yüzey suyundan alınan numunelerde pH değerleri, 1.dönem 8,07 ile 8,56, 2.dönem 8,13 ile 9,03, 3.dönem 8,01- 9,42 arasında değişmektedir.

Göksu Nehri üzerinden alınan numunelerde elektriksel iletkenlik değerleri 1.dönem en fazla 497 uS/cm iken 2.dönem ölçümlerinde bu değer 502 uS/cm, 3.dönem 562 uS/cm değerinde olduğu tespit edilmiştir.

Delta'da Ocak ile Haziran ayları arasında nehir havzasında, Ermenek ve Gökçay kollarında oluşan sert fırtınaların sebep olduğu taşkınlar gözlenir [17]. Taşkınlar nadiren Akgöl civarında etkili olur. Akgöl de Şubat ayında gözlenen yüksek elektriksel iletkenlik değeri de bu taşkınların sebep olduğu Akgöl-Paradeniz etkileşiminden kaynaklanmaktadır.

Yüzey sularından alınan örneklerde ciddi bir kirlilik tespit edilmemiştir.

5.4. İZOTOP ANALİZ SONUÇLARI

Bu çalışmada Göksu Deltasında ki azot kirlilik kaynağını belirlemek için, Sökün köprüsü, Regülatör ve Deniz olmak üzere 3 adet yüzey suyu, 4 adet yeraltı suyu (Bahçeköy, Sökün köyü, Kurtuluş köyü, Altinkum mahallesi (Arkum)) ,olmak üzere toplam 7 adet izotop örneği yağışlı (1.Dönem) ve kurak (2.Dönem) olmak üzere iki dönem alınmıştır. Analizler İngiltere de özel bir laboratuvar olan *Iso-Analytical Ltd* kararlı izotop analiz laboratuvarında yaptırılmıştır.

İki dönemde de alınan yeraltı sularının δD ve $\delta^{18} O$ izotop değerleri Doğu Akdeniz doğrusu (yerel meteorik doğru) ile Dünya Meteorik Doğrusu arasına düşmektedir. Yağışlı mevsim (1.Dönem) sonuçlarının A noktasına yakınlığı, delta yeraltı suyu izotop sonuçlarına uymakta ve yeraltı sularının yüksek kotlardan beslenen sular olduğu ortaya çıkmıştır. Yüzey sularından alınan numunelerde δD ve $\delta^{18} O$ izotoplarınca fakir olduğu ortaya konulmuştur.

Yağışlı (1.Dönem) ve Kurak mevsim (2.Dönem) de alınan numunelerde, izotop örnekleri Azot-15 oranı açısından da değerlendirilmiştir. Alanda en fazla kullanılan gübrenin Azot 15 izotop oranı ile atıksu Azot 15 izotop oranı değerleri arasında ki fark bize numunelerin kaynağını belirlemede kolaylık sağlayacaktır. ^{15}N izotop sonuçları incelendiğinde alanda en çok kullanılan amonyum-nitrat gübresinde ki ^{15}N izotop oranı literatürlerde belirlenen oranlar ile yakın olduğu, atıksuyun ise ^{15}N izotopunca zengin olduğu ortaya konulmuştur. Atıksuyun azot

izotopu yönünden zengin olması, atıksu kontaminasyonuna maruz kalan kuyuların belirlenmesinde önemli bir faktör olmaktadır.

Yağışlı dönem (1.Dönem) izotop sonuçları incelendiğinde yağışlı mevsimde alınan numunelerde Azot 15 izotop değerleri kurak mevsime göre daha fazla çıkmıştır. Bu da alandan alınan yağışlı /kurak mevsim kirlenici parametre analiz sonuçlarını desteklemekle birlikte, yağışlı mevsimde yağmur ve sulama suları ile nitrat iyonu topraktan daha fazla yıkanarak yeraltına geçtiğini göstermektedir. Yağışlı mevsim (1.dönem)de alınan numunelerden B5-B10-B11 Kurtuluş-Sökün köyü civarı alınan numunelerde yapılan Azot 15 izotop analizi sonucunda, bölgedeki yeraltı suyu azot kirlilik kaynağının atık sulardan kaynaklandığını ortaya koymuştur. D15 nolu kuyudaki ki azot kirliliği kaynağının ise gübre ve atıksu kaynaklı olduğunu göstermektedir.

Kurak mevsim (2.dönem)de alınan numuneler de Azot 15 izotop analiz sonuçları; B11-D15 nolu kuyuların azot kirliliği kaynağının gübre ve atıksudan kaynaklı olduğu, B10 ve B5 nolu kuyularda ki azot kirliliğinin de gübre ve toprakta biriken azottan kaynaklandığını ortaya koymuştur.

Azot 15 izotop analiz sonuçlarına göre, genel olarak deltadaki azot kirliliğinin baskın kaynağının atık sular olduğunu söyleyebiliriz.

Göksu nehri üzerinden alınan yüzey suyu örneklerinde yapılan Azot 15 izotop analizlerinin iki dönem sonuçları incelendiğinde, azot kirliliğinin bu bölgelerde ciddi boyutta olmamakla birlikte kaynağını tespit edecek verilere rastlanmamıştır.

5.5. YERALTI SUYU AKIM VE KİRLETİCİ MODEL SONUÇLARI

Yeraltı suyu akımı ve kirlilik kaynaklarının ortaya konulabilmesi için Visual MODFLOW yazılımı kullanılarak Göksu Deltası akiferi modellenmiştir. Modelleme çalışmalarında akifer geometrisinin modele girişi için jeoloji haritası basitleştirilerek kullanılmıştır .

Çalışma alanı akım modeli oluşturulurken ilk önce Akdeniz kıyı şeridi, Akgöl, Paradeniz, sabit seviyeli hidrolik yük (Constant Head, CH) ve diğer sınırların tamamı ise akım olmayan (No-Flow) sınır koşulları olarak modellenmiştir. Akım olmayan pasif hücreler, hesaplarda hiçbir şekilde dikkate alınmazlar. Akış olmayan bölgenin sınırında bulunan hücrelerde modelde genel hidrolik yük (General Head Boundary, GHB) sınır şartları kullanılmıştır.

Çalışma alanı 36. UTM bölgesinde, x yönünde 10 km, y yönünde 15 km olmak üzere 155 km² alanı kapsamaktadır. Model de tüm veriler UTM koordinatları kullanılarak girilmiştir.

Göksu Deltası akiferini sonlu farklar yöntemi ile modelleyebilmek için, model alanı 100x100 m boyutunda hücrelere bölünüp, 150 satır ve 100 kolon ve toplam (200 m kalınlıkta) 5 tabakadan oluşan 75000 hücreye sahip dikdörtgen boyutlu model ağı oluşturulmuştur .

Akiferin kalınlığı jeoloji çalışmaları ve açılmış sondaj logları dikkate alınarak 200 m olarak kabul edilmiş ve akifer beş tabakalı olarak modellenmiştir. Tabaka kalınlıkları değişken olup her hücre için kalınlık değerleri farklı olarak girilmiştir. Akifer kalınlıklarının dağılımı; 1.tabaka 5m, 2.tabaka 5 m, 3.tabaka 40 m, 4.tabaka 50 m, 5.tabaka 100 m olarak kabul edilmiştir .

Serbest Göksu akiferinin ve sınırlarının üst seviyesi topografik haritadan seçilen yüze yakın sayıda yükseklik değerinden oluşturulan Excel formatındaki tablodan modele ithal edilmiş ve Visual MODFLOW tarafından Kriging yöntemi kullanılarak enterpolasyonu sağlanmıştır.

Yeraltı suyu beslenmesi, deltanın üst kısımlarındaki iri taneli sedimentlerin olduğu yerlerde esas olarak yağıştan ve nehir sularının infiltrasyonundan meydana gelmektedir. Bunun yanında, deltayı çevreleyen dağların kar ve yağmur suları tarafından beslenen, alüvyon tabakanın hemen bitişiğinde başlayıp altına doğru uzanan karstik kireç taşı formasyonu da Göksu Deltasındaki alüvyon akiferlerin beslenmesine katkıda bulunmaktadır. Akifer sisteminden boşalım ise; düşük kotlarda gerçekleşen yeraltı suyundan Göksu Nehrine ve göllere doğru su çıkışı, sulama ve içme suyu temini için pompalama ile alınan suyu ve ayrıca kıyı boyunca denize doğru oluşan deşarjı kapsamaktadır.

Visual MODFLOW akım modelinin çalıştırılması sonucunda, Göksu deltasında yeraltı suyu akımı, kuzeyden güneye doğru olduğu ortaya çıkmıştır.

Çalışma alanında akım modeli oluşturulduktan sonra, yeraltı sularında ciddi bir kirletici kaynağı olan nitratın taşınımı modellenmiştir.

Modelde 48 adet pompaj kuyusu için koordinat, derinlik, pompaj miktarı verilerini içeren Excel formatındaki tablodan modele aktarılmıştır. Ayrıca alanda nitrat taşınım modeli için nitrat konsantrasyonları bilinen 10 adet konsantrasyon gözlem kuyusu ve 38 adet kuyunun verileri Excel formatındaki tablodan modele aktarılmıştır. Bilinmeyen noktaların tahmini değerleri de Visual MODFLOW tarafından Kriging yöntemi kullanılarak enterpolasyonu sağlanmıştır.

Çalışma alanında taşınım modeli oluştururken Visual MODFLOW programında mevcut olan MT3DMS modülü kullanılmıştır.

Oluşturulan akım modelinin kalibrasyonu için kuyularda ölçülen su seviyeleri ile model tarafından hesaplanan hidrolik yükler arasında iyi bir korelasyon , nitrat taşınımı modeli kalibrasyonu için ise kuyularda ölçülen nitrat konsantrasyonları ile model tarafından hesaplanan nitrat konsantrasyonlarının güvenli bölgeyi aşmadığı görülmüştür.

Yeraltı suyuna karışan kirleticiler başlıca adveksiyon ve hidrodinamik dispersiyon ile taşınırlar. Kirleticilerin adveksiyon ile taşınımı için öngörülerde bulunabilmenin yolu yeraltı suyu akım yollarının biliniyor olması gerekir.

Visual Modflow içindeki PATH modülü ile bu akım yolları bulunabilmektedir. Deltada yoğun olarak tarım yapılan noktalara konulan partikülleri izleme yöntemi ile 5 yıl önce nitrat kirliliğinin muhtemel lokasyon sonucunu tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, nitrat kirliliğinin Silifke başta olmak üzere deltanın üst sınırında bulunan yerleşim yerlerinden, yeraltı suyu akımına paralel olarak delta içinde ilerlediğini ortaya çıkmaktadır. Yani deltada var olan nitrat kirliliğinin kaynağı , sadece tarımsal aktivitelerden değil, yerleşim yerlerinden de kaynaklı olduğu tespit edilmiştir.

Bu tez kapsamında deltada nitrat kirliliğinin kaynağını araştırmak için yapılan azot-15 izotop sonuçları da bunu desteklemektedir. İzotop sonuçlarına göre de yerleşim yerlerinden alınan kuyu suyu örneklerinde nitrat kirliliğinin baskın kaynağı kanalizasyon olarak ortaya konulmuştur. Delta için oluşturulan ürün deseni haritası da göz önüne alındığında, tarımsal faaliyetler Silifke şehrinin alt kısmından başladığı ortaya konulmuştur. Yeraltı suyu kirletici taşınım modeli sonucuna göre de 5 yıl önce kirletici Silifke ve çevre yerleşim yerlerinden

başladığı dikkat çekmiştir. Bu da nitrat kirliliğinde kanalizasyonun etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Buna bağlı olarak deltada yılın on iki ayı yapılan tarımsal aktivitelerinde yeraltı suyunda nitrat ve ağır metal kirliliğine katkısı göz ardı edilemeyeceği üç dönem rastlanan azot konsantrasyonları ve gübre\ ağır metal karşılaştırma sonuçları ile kanıtlanmaktadır.

Model, izotop ve 3 dönem yapılan nitrat dağılım haritaları değerlendirildiğinde; Deltanın hemen hemen her noktasında nitrat iyonuna rastlandığı ancak denize yakın yerleşim yerlerinde nitrat konsantrasyonunda maksimum değerlere ulaşıldığı görülmüştür. Bunu deltanın üst kotlarından (yerleşim yerleri ve tarımsal aktivitelerden) gelen nitrat iyonu, yeraltı suyu akım yönüne paralel, alt kotlarda bulunan yerleşim merkezlerinden ve tarımsal aktivitelerden oluşan nitrat iyonuna eklenerek en yüksek konsantrasyona ulaştığını söyleyerek açıklayabiliriz. Başka bir deyişle deltanın üst kotlarından gelen nitrat iyonu, yeraltı suyu akım yönü doğrultusunda, alt kotlarda birikerek bu bölgelerde maksimum konsantrasyona ulaşmıştır.

Yapılan bu çalışma ile yeraltı sularının kalitesinin tarımsal aktivitelerden, bilinçsiz gübre kullanımından ve bölgedeki fosseptiklerin den etkilendiği ortaya koyulmuştur. Yeraltı sularında var olan Nitrat iyonun baskın kaynağı, izotop yöntemleri ile atıksudan kaynaklandığı tespit edilmiştir.

5.6. ÖNERİLER

Su, tüm canlıların hayatlarını sağlıklı bir şekilde devam ettirebilmeleri için oldukça önemlidir. Dünya üzerinde farklı yerlerde , benzer özelliklere sahip tüm su kaynaklarının ortak varoluşu, canlılığı sürdürülebilmek içindir.

Su kaynaklarının korunması ve kullanımı için sürdürülebilir önlemler ile başa çıkılabilirken, en başta birey olarak daha sonra toplum olarak suyun önemini yaşantımızın hiçbir döneminde unutmamız gerekmektedir.

Bu çalışma ile Göksu Deltası yeraltı suyu kalitesini etkileyen ve deltada ciddi sorun teşkil eden fosfatik ve tarımsal uygulamaların su kalitesine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ; deltada yeraltı sularında nitrat için baskın kirletici kaynağın fosfatikler olduğu ortaya konulmuştur. Yeraltı sularında azot bileşikler kirliliğinin önlenmesi için, kanalizasyon şebekesinin acilen kurulması gerekmektedir.

Deltada daha önceden yapılan araştırmalar, tezler ile bu çalışmanın verileri değerlendirildiğinde; aşırı kuyu suyu kullanımı ile kuyu sularında tuzlanma meydana geldiği, bilinçsiz gübre ve zirai ilaç kullanımı ile suların ağır metal, azot bileşikler ve fosfat iyonu açısından ciddi bir kirlilik ile karşı karşıya kaldığı ortaya konulmuştur.

Kuyu sularının kullanımı için bölge halkı bilinçlendirilmeli, çiftçilerin gübre ve pestisit kullanımı ile ilgili düzenli olarak en az yılda iki kez eğitime tabii tutulması gerekmektedir.

Özel Çevre Koruma Alanı olan Göksu Delta'sına gereken önem sadece alanda ki yapı kullanım izinlerini kontrol etmekle olmayıp, bölgedeki tüm canlı

grubunu ve bölge halkını birinci derece ilgilendiren su kaynaklarını korumak için harekete geçilmelidir.

Su kaynaklarının mevcut durumu kayıt altına alınmalı ve belirli periyotlarla izlenmelidir.

Delta bugüne kadar yapılan tarımsal faaliyetler ile toprakta biriken gübre ve pestisit miktarları analiz edilmeli, toprağın ihtiyacı olan miktarlarda gübreleme yapılmalıdır.

Bu çalışma ve literatürdeki çalışma sonuçları göz önüne alınarak , Göksu Delta'sı için bir yönetim sistemi geliştirilmelidir. Bu yönetim sistemi, 1. Deltaki Su Kaynakları İzleme ve Denetleme , 2. Delta Tarımsal Faaliyetler İzleme ve Denetleme , 3. Delta Su ve Toprak Kirliliği Bilgi Sistemi Oluşturma/ Güncelleme başlığında idari olarak üç ana gruptan oluşmalıdır. Her grup kendi içinde alt komisyona ayrılmalıdır.

Su Kaynakları grubu alt komisyonları; 1.Yüzey Suyu Kaynakları Mevcut Durum İnceleme Komisyonu, 2.Yeraltı Suyu Kaynakları Mevcut Durum İnceleme Komisyonu , 3. Su Kaynakları Kirliliği Önleme ve Denetleme Komisyonu olmak üzere 3 ana başlık altında alt komisyondan oluşmalıdır.

Tarımsal Faaliyetler İzleme ve Denetleme alt komisyonları; 1. İlaç ve Gübre Kullanımı İzleme Komisyonu, 2. Deltada Yetiştirilen Ürün Kayıt Komisyonu, 3. Delta Tarım Topraklarını İnceleme ve Denetleme Komisyonu, olmak üzere 3 ana başlık altında alt komisyondan oluşmalıdır.

Delta Su ve Toprak Kirliliği Bilgi Sistemi Oluşturma/ Güncelleme alt komisyonları; 1. Su Kirliliği Bilgi Sistemi, 2. Toprak Kirliliği Bilgi Sistemi, olmak üzere 2 ana başlık altında alt komisyondan oluşmalıdır.

Bu grup ve alt komisyonlar çoğaltılabilmekle birlikte esas amaç; Deltada bugüne kadar yüzey-yeraltı suyu ve toprak kirliliği ile ilgili verilerin tek bir bilgi sisteminde toplanması, bu bilgi sistemi ile deltada ki kirliliğin mevcut ve gelecek durumu hakkında önceden tespitlerde bulunabilmesidir.

Bu yönetim sistemi ile; yeraltı sularının bölgelere, mevsimlere göre kullanım miktarları, tarım topraklarının mevsimlere göre ne kadar gübre ve zirai ilaca maruz kalacağını, tüm bunlara bağlı olarak zaten deltada var olan su kaynakları kirliliğinin gelecekte hangi aşamaya geleceğini önceden tespit edip, kontrol edebilmeye olanak sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Adams S., Titus, R., Pietersen, K., Tredoux, G. And Harris, C, “Hydrochemical Characteristics Of Aquifers Near Sutherland İn The Western Karoo, South Africa” Journal Of Hydrology, 241, pp.91-103 (2001).
- Afşin, M., Kayabalı, K. "Uygulamalı Hidrojeoloji", 4. Baskı, Gazi Kitapevi, Ankara, 682 S., (2004).
- Aldonat, K., “HEC–1 Modeli İle Yukarı Göksu Nehir Havzasının Parametre Tahmini”, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 148 S., (1995)
- Anaç, S., Kukul, Y.S.,” Su Ve Gübre Kullanım Etkinliği Çalışmalarında Nükleer Tekniklerin Uygulanması”, II. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, S 25-30. (2005).
- Anaç, S., Özçakal, E., Kukul, Y., S., “Tarımsal Hidroloji Uygulamalarında Nükleer Tekniklerin Kullanımı”, III. Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, Çevre Ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı İstanbul (2008).
- Appelo, C., A., J., Postma, D., "Geochemistry, Groundwater And Pollution", A.A. Balkeme/ Rotterdam/ Brookfield, , 536 S, (1996).
- Aquachem V.5.1 User’s Manual, Water Quality Data Analysis, Plotting, And Modeling, Waterloo Hydrogeologic, Inc, P:1-2 (2006).
- Aravena R, Mayer B. "Isotopes And Processes İn The Nitrogen And Sulfur Cycles", Editors In: Aelion CM, Höhener P, Hunkeler D, Aravena R., Environmental İsoptes İn Biodegradation And Bioremediation. Lewis Publishers. Pp. 203–46, (2010).
- Avcı, E. D, “Göksu Deltası Toprak, Bitki Ve Çökellerinde Methamidophos Kalıntısının Araştırılması”,Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Mersin, (2004)

- Ayaş, Z., Kolonkaya, D., "Accumulation Of Some Heavy Metals İn Various Environments And Organisms At Göksu Delta,Türkiye", Bulletin Of Environmental Contamination And Toxicology, S.56: 65-72, (1996).
- Başbüyük, M., Evliya, H. "Göksu Deltası Su Kirlilik Düzeyi Ve Su Kalitesinin Belirlenmesi", Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Adana, 15 S., (1993).
- Başkan, O., " Gölbeaşı Yöresi Topraklarının Mühendislik,Fiziksel Özellik İlişkilerinden Jeostatistik Uygulaması", Doktora Tezi, A.Ü,Fen Bilimleri Enstitüsü,Ankara, (2004).
- Battaglin, W. A., Kendall, D., Goolsby, D. A. , Boyer, L. L.," Plan Of Study To Determine İf The Isotopic Ratios d¹⁵N And d¹⁸O Can Reveal The Sources Of Nitrate Discharged By The Mississippi River İnto The Gulf Of Mexico". U.S. Geological Survey Open-File Report, 97-230, 18 Pp. (1997).
- Bayazit, M. " Hidroloji", İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, , 242 S.,(1995).
- Baytaş, A. C., " Gözenekli Ortamlarda Taşınım Olayı", İTÜ Dergisi/C, Fen Bilimleri Enstitüsü, Cilt:4, Sayı:1, 3-13, (2006).
- Bear, J., Cheng, A.H.D., Sorek, S., Ouazar, D. , Herrera, I.," Seawater Intrusion In Coastal Aquifers: Concepts, Methods And Practices", Kluwer, Dordrecht, 652, (1999).
- Bedard-Haughn, A., Groenigen¹, J.W. Van , Kessel, C. Van, "Tracing 15n Through Landscapes: Potential Uses And Precautions", Journal Of Hydrology, 272 ,175–190, (2003).
- Bedient P. B., Rifail H.S.,Wewell C.J., " Groundwater Contamination Transport And Remediation",2 Edition, **Isbn:**9780130138408, Prentice Hall, Page:189, (1999).
- Bradl H.B., (Editor) "Heavy Metals İn The Environment : Origin, Interaction And Remediation", University Of Applied Sciences Trier Neubrucke

- ,Interface Science And Technology, Elsevier Academic Pres, P 269. Germany, (2005).
- Canik, B., "Hidrojeoloji, Yeraltı Sularının Aranması, İşletilmesi, Kimyası", Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ERTEM Yayınları, Ankara, 286 S., (2003).
- Canter, L. W., "Nitrates İn Groundwater", Lewis Publishers, Boca Raton, FL. (1997).
- Catherine, M. Ve Doherty, J. "The Cost Of Uniqueness İn Groundwater Model Calibration", Advances İn Water Resources, 29: 605–623, (2006).
- Çetinkaya, G. "Göksu Deltası Tarım Alanında Kullanılan Tarımsal Kimyasalların Oluşturduğu Çevresel Etkileri", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, (1996).
- Çevre ve Orman Bakanlığı Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği , Revizyon Tarihi: 13/2/2008-26786 (2004).
- Çevre Ve Orman Bakanlığı, "Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği", Sayı : 27527, (2010).
- Çifter, C. , Sayın, M., "İzotopların Hidrolojide Kullanılması", I. Ulusal Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, 21-25 Ekim, 1-14, Adana (2002).
- Clark, I., Fritz, P., "Environmental Isotopes İn Hydrogeology", Lewis Publ., Boca Raton, 328p. (1997).
- Çobaner, M., "Kıyı Akiferlerinde Tuzlu Su Girişiminin Üç Boyutlu Simülasyonu: Göksu Deltası Örneği", Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, (2009).
- Comly, H. H., "Cyanosis İn Infants Caused By Nitrates İn Well Water", Journal Of The American Medical Association, 257:2788-2792, (1987).
- Coplen, T.B., Herczeg, A.L. Ve Barnes, C., "Isotope Engineering, Using Stable Isotopes Of The Water Molecule To Solve Practical Problems". Environmental Tracers İn Subsurface Hydrology , Kluwer Academic Publishers, Australia, 529p.(2000).

- Coplen, T.B., Herczeg, A.L. Ve Barnes, C., "Isotope Engineering, Using Stable Isotopes Of The Water Molecule To Solve Practical Problems". Environmental Tracers In Subsurface Hydrology , Kluwer Academic Publishers, Australia, 529p.(2000).
- Curt, M. D. , Aguado, P., Sánchez, G. , Bıgeriego, M. , Fernández J. , "Nitrogen Isotope Ratios Of Synthetic And Organic Sources Of Nitrate Water Contamination In Spain" Water, Air, And Soil Pollution, Kluwer Academic Publishers, 151: 135–142 (2004).
- Demirel, Z., Özer, Z., Özer, O.," Investigation And Modeling Of Water Quality Of Göksu River (Cleados) İn An İnternational Protected Area By Using Gıs", J. Geogr. Sci., 21(3): 429-440,(2011).
- Demirel, Z , Özer, O., Özpınar,Z., Investigation Of Groundwater Pollution İn A Protected Area İn Turkey The Göksu Delta; Gazi University Journal Of Science, 24(1): P:17-27 (2011).
- Demirel,Z.,A., "Göksu Deltasında Su Kalitesinin Fotometrik Ölçümlerle Araştırılması - Cbs Oluşturulması Ve Modelleme", Proje No; Tubitak 105y285, Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Mersin, (2008).
- DSİ Jeoteknik Hizmetler Ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı Genel Müdürlüğü "Göksu Deltası Hidrojeolojik Etüt Çalışmaları Ara Raporu", Ankara, (1997).
- Dube A., Zbytniewski R. , Kowalkowski T., Cukrowska E., Buszewski B. "Adsorption And Migration Of Heavy Metals İn Soil", Polish Journal Of Environmental Studies Vol. 10, No. 1 ,1-10, (2001).
- Elik, M., Sarı, A.,Koralay, B., Çelik,M.,Gülçubuk, B.,Mergen, O., "Göksu Deltası Özel Çevre Koruma Bölgesi Su Kaynakları Yönetimi Projesi", Özel Çevre Koruma Kurumu Başkanlığı, Mersin,Silifke, (2009).
- Emekli, N.," Numerical Simulation Of Saltwater Intrusion İn Erzin Groundwater Basin Hatay–Turkey", Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, Ankara,(1993).

Environmental Protection Agency (Epa), In: Handbook Ground Water; Volume Iı, Methodology " Transport And Fate Of Contaminants İn The Subsurface", <http://Www.Bvsde.Opsoms.Org/Muwww/Fulltext/Repind46/Transport/Transport.Html> (30.05.2014)

Environmental Protection Agency, "Transport And Fate Of Contaminants İn The Subsurface", Handbook Ground Water; Volume Iı, Methodology , <http://Www.Bvsde.Opsoms.Org/Muwww/Fulltext/Repind46/Transport/Transport.html>, (Mayıs, 2014) .

Erguvanlı, K., Yüzer, E. "Yeraltı Suları Jeolojisi", İstanbul Teknik Üniversitesi, Yayın No: 23, İstanbul, (1987).

Ertekin C., Tarcan G.," Yeraltı Suyunda Çözünmüş Kirleticilerin İletimi", Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7-2 Özel Sayı, 303-316,(2003).

Everest, A.,"Göksu Deltasındaki Bazı Bitkilerin Çeşitli Ekolojik Özellikleri Yönünden İncelenmesi Ve Toprakların Karbon, Azot Mineralizasyonu", Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Adana, 170 S. (1994).

Faure, G., "Principles Of Isotope Geology", (2nd Edition), John Wiley And Sons, New York, 589p. (1986).

Fageria, N.K., Baligar, V.C.,"Enhancing Nitrogen Use Efficiency İn Crop Plants". Adv. Agron. 88, 97–185. (2005).

Fertig, B., Carruthers, T.J.B., Dennison, W.C., Jones, A.B., Pantus, F., Longstaff, B., "Oyster And Macroalgae Bioindicators Detect Elevated ¹⁵N İn Maryland's Coastalbays". Estuaries Coasts 32, Pp 773–786, (2009).

Fetter,C.W " Uygulamalı Hidrojeoloji", Gazi Kitapevi , S:414-416 ,(2004).

Galip S. , Turan Y., Bulent S., Cagatayhan B. E., "Groundwater Hydrochemistry At The Mediterranean Coastal Plains- The Case Of Silifke, Turkey", Desalination, Volume 253, Issues 1–3, , P: 164–169,(2010).

Gat, J. R., Gonfiantini, R., "Stable Isotope Hydrology, Deuterium And Oxygen-18 İn The Water Cycle". Iaea, Tech. Rept. Series No.210, 337pp. (1981).

- Gat, J.R., "Comments On The Stable Isotope Method In Regional Groundwater Investigations". Water Resources Research, V.7, Pp.980-993, (1971).
- Grondin G.H., Camacho, I., "Land Use Amd Nitrogen Loading İn The Lower Umatilla Basin Groundwater Management Area", Chapter 3, Oregon Departman Of Environmental Quality, Northern Morrow And Umatilla Counties ,Oregon (1995)
- Gül, N. , Mülayim, H. "Silifke Göksu Deltası Tatlı Su-Tuzlu Su Girişiminin Jeofizik Etüt Raporu", Dsi Altıncı Bölge Müdürlüğü, Adana, (1997).
- Güleç, N. , Mutlu, H. , "Jeotermal Alanlarda İzotop Jeokimyası, Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar", Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, No. 306, S. 64-88, (2003).
- Haar, B.L.H., Heunks, E. "Use It Or Loose It: A Hydrological Inventarisatıon Of The Göksu Delta, Turkey", Interfaculty Of Environmental Studies, State University Of Utrecht, The Netherlands, 91 P. (1992).
- Hallberg, G.,R., Keeney, D.,R., "Nitrate Regional Ground-Water Quality Van Nostrand Reinhold", New York, P.297-322, (1993).
- Haller, L., Mccarthy, P., O'brien, T., Riehle, J., Stuhldreher, T. "Nitratepollution Of Groundwater", Erişim: <http://www.reopure.com/nitratinfo.html> (15.2.2008).
- Hatipoğlu, Z. " Mersin-Tarsus K1y1 Akiferinin Hidrojeokimyası", Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği A.B.D, Doktora Tezi,S:73-74,(2004).
- Heikoop, J.M., Risk, M.J., Lazier, A.V., Edinger, E.N., Jompa, J., Limmon, G.V., Dunn,J.J., Browne, D.R., Schwarcz, H.P., "Nitrogen-15 Signals Of Anthropogenicnutrient Loading İn Reef Corals". Mar. Pollut. Bull. 40, 628–636. (2000).
- IAEA, Analytical Quality İn The IAEA Isotope Hydrology Laboratory, "Some Recent Improvements". Water And Environment News, IAEA, No.3, Pp 5-7 (1998).

- İnal,C., Turgut ,B., Yiğit, C.Ö., "Lokal Alanlarda Jeoit Ondülasyonlarının Belirlenmesinde Kullanılan Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması", Selçuk Üniversitesi Jeodezi Ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30.Yıl Sempozyumu, 16-18, Konya, (2002).
- Kaçar, B., Katkat, V., A. " Gübreler ve Gübreleme Tekniği", Nobel Yayın, Ankara , 559 s., (2007).
- Karaca, İ. " Göksu Deltası Özel Çevre Koruma Bölgesi 2005 Yılı Çevre Durum Raporu", T.C. Çevre Ve Orman Bakanlığı Özel Çevre Koruma Kurum Başkanlığı, Mersin Özel Çevre Koruma Müdürlüğü, Mersin, (2006).
- Karakılçık, H. "Düşey Elektrik Sondaj Yöntemi İle Silifke Ovacık Ovası Yeraltısu Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 98 s., (1996).
- Keçer, M., Duman, T., Y., "Yapay Etkinliklerin Göksu Deltası Gelişimine Etkisi", MTA Dergisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, 134, 17-26, (2007).
- Keçer, M., "Göksu Deltasının (Mersin) Jeomorfolojik Evrimi ve Güncel Akarsu Deniz Rüzgar Süreçlerinin Kıyı Çizgisinde Yaptığı Değişiklikler", Mersin, MTA (2001).
- Kellman L.M., C.Hillaire-Marcel.. " Evaluation of Nitrogen isotopes as indicators of nitrate contamination sources in an agricultural watershed". Agriculture Ecosystems and Environment 95, pp87-102. (2003).
- Kohl, D. H., Shearer, G. B. and Commoner, B., "Fertilizer nitrogen: Contribution to nitrate in surface water in a corn belt watershed", Science ,174, pp 1331–1334. (1971).
- Köleli, N. ve A. Demir, "Göksu Deltası Tarım Topraklarında Ağır Metal Spesiasyonu (Türlendirmesi)" Mersin Sempozyumu, s. 406-416, 19-22 Kasım, Mersin, (2008).
- Köleli, N. ve Kantar, Ç. "Fosfat Kayası, Fosforik Asit ve Fosforlu Gübrelerdeki Toksik Ağır Metal (Cd, Pb, Ni, As) Konsantrasyonu", Ekoloji Dergisi, No:55, syf:1-5. (2005).

- Komor, S. C. and H. W. Anderson, Jr.. " Nitrogen isotopes as indicators of nitrate sources in Minnesota sand plain aquifers". *Ground Water*, 31, 260-270, (1993).
- Kowalenko C. G. , Yu S., "Assessment of nitrate adsorption in soils by extraction, equilibration and column-leaching methods "Canadian Journal Of Soil Science, p:49-57, (1995).
- Kumbur, H., Özer, Z., Özsoy H.D. “ Göksu Deltası Özel Çevre Koruma Bölgesinde Su Kalitesinin İzlenmesi Projesi”, Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü – Silifke Özel Çevre Koruma Müdürlüğü, 76 s.,Mersin, (2004).
- Kurttaş, T.,” Karışım Sularında Kökensele Katkıların Belirlenmesi”. I. Ulusal Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, 21-25 Ekim, 287-302, Adana. (2002).
- Lassauque, J., Lepoint, G., Thibaut, T., Francour, P., Meinesz, A., "Tracing Sewage and Natural Freshwater Input In A Northwest Mediterranean Bay: Evidence Obtained From Isotopic Ratios In Marine Organisms", *Mar. Pollut. Bull.* 60, 843–851. (2010).
- Leung C, Jiao J. J. , "Heavy Metal And Trace Element Distributions In Groundwater In Natural Slopes And Highly Urbanized Spaces in Mid-Levels Area, Hong Kong", *Water Research* ,40 ,753 – 767, (2006).
- Lindenbaum J.," Identification Of Sources Of Ammonium In Groundwater Using Stable Nitrogen And Boron Isotopes In Nam Du, Hanoi", Master's Thesis Department Of Geology Lund University, 41pp. (2012).
- Lubczynska, M. W. , Gurwinb, J. “Integration Of Various Data Sources For Transient Groundwater Modeling With Spatio-Temporally Variable Fluxes—Sardon Study Case, Spain”, *Journal Of Hydrology*, 306: 71–96, (2005).
- Merkel B.J., Friedrich B.P., (Edited By D.K. Nordstrom),"Groundwater Geochemistry", Springer, (2002).

- Mikayilov, F.D., Acar, B.," Toprak Ekosistemlerinde Kirleticilerin Taşınım Mekanizmasının İncelenmesi Ve Modellenmesi", ÇEVKOR, 7: (28), S: 20-23, (1998).
- Minnesota Pollution Control Agency, "Nitrates İn Minnesota's Ground Water", Ground Water Monitoring And Assessment Program,(1998).
- Motz, L., Yurtal, R., Gördü, F., Doğan, A. "Optimization Of Groundwater Use Subject To Saltwater Intrusion Along The Mediterranean Coast Of Turkey",TUBITAK –NSF, Proje No: 9819824, Ankara, (2006).
- Obeidat M. M., Ahmad F. Y., Hamouri N. A., Massadeh A. M., Athamneh F. S, "Assessment of nitrate contamination of karst springs, Bani Kanana, northern Jordan ", Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 25, num. 3, p. 426-437, (2008).
- Ostrom N.E., K.E.Knoke, L.O.Hedin, G.P.Robertson,A.J.M.Smucker. "Temporal trends in nitrogen isotope values of nitrate leaching from an agricultural soil".Chemical Geology. 146 pp 219-227,(1998).
- Ozoner, S., F. "Kıyı Yasasının Yerbilimci Gözüyle Yorumu , yanlış Uygulamalar ve Göksu Deltası Örneği", Uluslararası Göksu Deltası Çevresel Kalkınma Semineri, Silifke, s. 34-37, (1993)
- Özel Çevre Koruma Kurumu Başkanlığı (ÖÇKKB), Özel Çevre Koruma Bölgeleri, Yayın No:28, (1993).
- Özel Çevre Koruma Kurumu Başkanlığı, "Göksu Deltası Yönetim Planı", Ankara (2009).
- Özer, O., Demirel, Z., Özer, Z. ,“Göksü Deltası’nda Gübre Ve Pestisit Kullanımına Bağlı Olarak Tarım Topraklarındaki Kirliliğin Araştırılması”, Uluslararası Çevre Sempozyumu, Kırgızistan-Türkiye Manas Üniversitesi, 20–23Mayıs, Kırgızistan, (2009).
- Özer,O., “Göksu Deltası’nda Su Kalitesinin Belirlenmesi ve Su Kalitesi Coğrafi Bilgi Sisteminin Kurulması”,Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, (2008).

- Özgüler, H., “Hidrolojide İzotoplar Unesco Uluslararası Programı Iaea/Unesco Joint International Isotopes In Hydrology Programme”, Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, s:25, Adana, (2002).
- Özpinar, Z.,“Göksu Deltası’nda Su Kalitesinin Fotometrik Yöntemlerle Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Mersin,(2007).
- Özsoy, S., " Su Ve Yaşam: Suyun Toplumsal Önemi", Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Çalışma Ekonomisi Ve Endüstri İlişkileri Anabilimdalı, Yüksek Lisans Tezi,Ankara, 200 s., (2009).
- Pitney Bowes Software Inc., "Vertical Mapper Version 3.5 USER GUIDE", 209 s, (2008).
- Rolston, D. E., Fogg, G. E., Decker, D. L. , Louie, D. T.. "Nitrogen Isotope Ratios of Natural and Anthropogenic Nitrate in the Subsurface", Proceedings of the XXV Congress of the International Association of Hydrogeologists, Adelaide, Australia, 21–25 November , 7 pp.(1994).
- Romic M., Romic D."Heavy metals distribution in agricultural topsoils in urban area", Environmental Geology ,Volume 43, Issue 7, pp 795-805 , (2003).
- Rozic P. Z., Dolenc T., Lojen S., Kniewald G., Dolenc M., "Using stable nitrogen isotopes in Patella sp. to trace sewage-derived material in coastal ecosystems", Ecological Indicators ,36, 224– 230. (2014).
- Samsunlu, A. “Çevre Mühendisliği Kimyası”, Sam- Çevre Teknolojileri Merkez Yayınları, s. 288-300, İstanbul, (1999).
- Sarà, G., Scilipoti, D., Mazzola, A., Modica, A.," Effects of fish farming waste tosedimentary and particulate organic matter in a southern Mediterranean area (Gulf of Castellammare, Sicily): a multiple stable isotope study ¹³C and ¹⁵N". Aquaculture 234, pp199–213. (2004).
- Schott, P.,P.,Wassen M., J.,“Possible Contribution of The University of Utrecht to the Göksu Delta Project”,(1991).

- Senthilkumar, M. ve Elango, L. "Three-dimensional mathematical model to simulate groundwater flow in the lower Palar River basin, southern India", Hydrogeology Journal, 12: 197–208, (2004).
- Senthilkumar, M. ve Elango, L., "Three-dimensional mathematical model to simulate groundwater flow in the lower Palar River basin, southern India", Hydrogeology Journal, 12: 197–208, (2004).
- Shakia, A.A. ve Adeloyeb, A.J. "Mathematical Modelling Of Effects Of Irawan Irrigation Project Water Abstractions On The Murzuq Aquifer Systems in Libya", Journal of Arid Environments, 71: 133–156, (2007).
- Sigleo, A.C., Macko, S.A.,. "Carbon and nitrogen isotopes in suspended particles and colloids, Chesapeake and San Francisco Estuaries. Estuar. Coast". Shelf Sci. 54, 701–711. (2002).
- Soyaslan, İ.İ. "Eğirdir Gölü Doğusunun Hidrojeoloji İncelemesi ve Yeraltısu Modellemesi", Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 298s, (2004).
- Sukumar, N., Moran, B., Semenov, A., Belikov, V.V., "Natural Neighbour Galerkin Methods", International Journal for numerical methods in engineering, 50, 1-27, (2001).
- Tanji, K., K. "Agricultural Salinity Assesment and Management", Published by American Society of Civil Engineers, 619 pp, New York, (1990).
- TC. Çevre ve Orman Bakanlığı Özel Çevre Koruma Kurumu, "Göksu Deltası Özel Çevre Koruma Bölgesi II. Dönem Yönetim Planı", 309 s., Ankara, (2009).
- Tecim, V., "Coğrafi Bilgi Sistemleri Harita Tabanlı Bilgi Yönetimi", Renk Form Ofset Matbaacılık, Ankara, 362 s, (2008).
- Tezcan, L., "Hidrolojik Çalışmalarda Kullanılan Yeni İzotoplar Ve Kullanım Alanları", Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, s:15, Adana (2002).

Toröz, İ. (Çeviri Editörü), "Çevre Mühendisliği ve Bilimi için Kimya", Nobel, 782 s., Nisan (2013). [Sawyer, C., N., McCarty, P., L., Parkin, G., F., "Chemistry for Environmental Engineering and Science, 2003].

Tucker, J., Sheats, N., Giblin, A.E., Hopkinson, C.S., Montoya, J.P., Using stable isotopes to trace sewage-derived material through Boston Harbor and Massachusetts Bay. *Mar. Environ. Res.* 48, 353–357. (1999).

Ulusoy, K., "Küresel Ticaretin Son Hedefi: Su Pazarı", Kristal Kitaplar Yayınevi, Ankara, (2007).

United States Environmental Protection Agency (EPA) Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories, (2011).

USGS U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey, "Modeling Ground-Water Flow with MODFLOW and Related Programs MODFLOW and Related Programs", <http://pubs.usgs.gov/fs/FS-121-97/fs-121-97.pdf>, (10.05.2014).

USGS (U.S. Geological Survey), U.S. Department of the Interior, "Modeling Ground-Water Flow with MODFLOW and Related Programs MODFLOW and Related Programs", (1997), <http://pubs.usgs.gov/fs/FS-121-97/fs-121-97.pdf> (30.05.2014)

Uygun, N., Dinç, U., Yeğingil, İ., Kornoşor, S., Gültekin, E., Biçici, M., Yücel, M., Çakan, H., Şekeroğlu, E., Uzun, G., Düzenli A., Şenol, S., Uygur, N., Sirel, B. "Göksu Deltası'nın Biyolojik Zenginliğinin (Flora ve Fauna) Tespiti İle Ekolojik Peyzaj ve Optimal Arazi Kullanımının Belirlenmesi", T.C. Çevre Bakanlığı Özel Çevre Koruma Kurumu Başkanlığı, Proje No. 09.G.92/03, (1994).

Uysal, E. "Kuşadası (Aydın) Çevresinin Hidrojeolojik İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, 119 s., İzmir, (2002).

Vizzini, S., Mazzola, A., "Stable isotope evidence for the environmental impact of a land-based fish farm in the western Mediterranean". *Mar. Pollut. Bull.* 49, pp 61–70. (2004).

- Wassenaar, L. I.: "Evaluation of the origin and fate of nitrate in the Abbotsford aquifer using the isotopes of ^{15}N and ^{18}O in NO_3^- ", Appl. Geochem. 10(4), 391–405. (1995).
- WHO, Guidelines For Drinking Water Quality, Vol.2 (Health Criteria and Other Supporting Information), Geneva, (1993).
- Widory D., Kloppmann W., Chery L., Bonnin J., Rochdi H., Guinamant J.L., "Nitrate in groundwater: an isotopic multi-tracer approach". Journal of Contaminant ;Hydrology 72 pp 165-188. (2004).
- Wong, S.C., Lia ,X.D., Zhang G., Qi S.H., Min Y.S. "Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta,South China"Environmental Pollution 119 ,p: 33–44, (2002)
- Xu, L., Zhang, M.,. "Primary consumers as bioindicator of nutrient pollution inlake planktonic and benthic feed webs". Ecol. Indic. 14, 189–196. (2012).
- Yalvaç, M., Taner, F., Avcı, E.,D.," Göksu Deltası Yeraltı Suyunda Organik Klorlu Bir Pestisit olan Endosülfanın Araştırılması", Türk Sucul Yaşam Dergisi, Ulusal Su Günleri, 3(2): 433- 434, Mersin, (2004).
- Yeniçilek, R. " Ovacık Denizaltı Kaynakları Jeofizik İnceleme Raporu", DSİ Yayını, Ankara, Arşiv No:35, (1979).
- Yıldırım, N., Güner, İ., N.,"Büyük Menderes Grabeninin Doğusunda Yeralan Jeotermal Sahalarda Bulunan Suların İzotopik Ve Hidrojeokimyasal Özellikleri",Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, s:79, Adana (2002).
- Yılmaz, A., Yemenicioğlu, S., Tuğrul, S., Baştürk, Ö., Saydam, C., Salihoğlu, İ. "Çevre ve Oşinografisi ile Göksu Deltasının Kuzeydoğu Akdeniz'deki Yeri", Uluslararası Göksu Deltası Çevresel Kalkınma Semineri, s.112-127, Silifke, (1993).

Zheng, C., Wang, P.P., "MT3DMS: A Modular Three-Dimensional Multispecies Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion, and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems; Documentation and User's Guide", Engineer Research and Development Center, SERDP-99-1, 169s, (1999).



ÖZGEÇMİŞ VE ESERLER LİSTESİ

Adı Soyadı: Olcay ÖZER

Doğum Tarihi: 22/Eylül/1985

Öğrenim Durumu:

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lise	Fen	20 Temmuz Fen Lisesi	1999-2002
Lisans	Çevre Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2002-2006
Yüksek Lisans	Çevre Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2006-2008

Görevler:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Arş.Gör.	Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü	2008-2014
Uzman	Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü	2014-devam

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

1. Demirel, Z. , Özer, Z. , **Özer O.** "Nitrogen And Phosphate Contamination Stress Of Groundwater İn An İnternationally Protected Area, The Göksu Delta, Turkey, "Fresenius Environmental Bulletin, 19 (11),Pp 2509-2517, 2010.
2. Demirel, Z., Özer, Z., **Özer O.** "Investigation And Modelling Of Water Quality Of Göksu River (Cleados) In An International Protected Area By Using Gıs", Journal Of Geographical Sciences, 21(3),Pp 429-440,2011.
3. Demirel, Z., **Özer, O.**, Özpınar Z. " Investigation Of Groundwater Pollution İn A Protected Area İn Turkey, The Göksu Delta" Gazi University Journal Of Science, 24(1),Pp 17-27,2011.

4. Demirel,Z., **Özer, O.**, Dabanlı, S." Creation Of GıS And 3d Maps Relating To Land Use, Agriculture, Livestock İn Göksu Delta", Research Journal Of Biological Sciences, 3 (2): 175-179, 2010.

5. Demirel, Z., Özer, Z., **Gülçiçek, O.**, Kaya, A.,“Environmental Insite: An Environmental İn For Formation System Used For Assessing Groundwater Quality İn Mersin”, International Conference On Environment Survival And Sustainability, Near East University, 406-407, Nicosia- Cyprus, 19-24 Şubat 2007 “*Poster Sunum*”

6. Demirel, Z., Özer, Z., Özpınar, Z.,**Gülçiçek, O.**, “The Application Of GıS And Models On The Water Basin Management – A Case Study Of Berdan River”, International Congress On River Basin Management, Republic Of Turkey Ministry Of Energy And Natural Resources, General Directorate Of State Hydraulic Works, 361-371, Antalya, 22-24 Mart 2007 “*Poster Sunum*”.

7. Kumbur, H., Erkurt, A. E., **Gülçiçek, O.**, “Mersin Üniversitesi Çiftikköy, Yenişehir Ve Tece Kampus Sularının Mikrobiyolojik Yönden İncelenmesi” Ulusal Çevre Sempozyumu 2007, Bildiri Özetleri Kitabı ,195, Mersin, 18-21 Nisan 2007. “*Poster Sunum*”

8. Demirel, Z., Özer, Z., **Özer, O.**, Yıldız, G., Erdal, M. E., Dabanlı, S. “Göksu Nehrinin Su Kalitesi Ve Wqmcıal Modelinin Uygulanması”, Çevre Sorunları Sempozyumu Kocaeli-2008, Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 784-793. 14-17 Mayıs 2008, İzmit. “Sözlü Sunum

9. Demirel, Z., Özer, Z., **Özer, O.**, Bolatbaş, A. “Mersin-Erdemli Kösbucağı Krom Zenginleştirme Tesisinde Mindec Model Uygulanması”, Çevre Sorunları Sempozyumu Kocaeli-2008, Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 839-847. 14-17 Mayıs 2008, İzmit“**Sözlü Sunum**”

10. Demirel Z., **Özer, O.** “Mersin İlinin Su Potansiyeli Ve Kullanılabilirliği”,Mersin Sempozyumu, 22 Kasım 2008, Mersin Üniversitesi,Mersin. “Sözlü Sunum”.

11. Özer, O. , Demirel, Z. , Özer, Z. “Göksü Deltası’nda Gübre Ve Pestisit Kullanımına Bağlı Olarak Tarım Topraklarındaki Kirliliğin Araştırılması”,Uluslararası Çevre Sempozyumu, Kırgızistan-Türkiye Manas Üniversitesi, 20–23 Mayıs 2009, Kırgızistan. “Sözlü Sunum”.

12. Demirel, Z. , Özer, O. , Dabanlı, S. “Göksü Deltası’nın Tarım, Hayvancılık, Arazi Kullanımı İle İlgili 3 Boyutlu Haritalarının Ve Cbs’nin Oluşturulması”, IX. Ulusal Ekoloji Ve Çevre Kongresi, 7–10 Ekim 2009, Ürgüp- Nevşehir. “Sözlü Sunum”.

13. Özer, O. , Demirel, Z. , Şaldırdak M.T.,"Investigation Flood Risk With Geographic Information Systems (Gis) In Mersin", International Sustainable Water And Wastewater Management Symposium, Cilt 1, Sayfa:222, 26-28 October 2010 – Konya/Turkey. “Poster Sunum”.

14. Özer, O. , Demirel, Z., Kol R., Uğur, O. O., Esen E. D., Kılınç T. G., Türk H., Yalvaç Y.,"Mersin Sahilinde Karasal Kaynaklı Deniz Kirliliğinin Coğrafi Bilgi Sistemi (Cbs) İle Haritalandırması", XI Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, Cilt1, Sayfa:100, 1-4 Ekim 2013 - Samsun/Türkiye “Sözlü Sunum”.

15. Özer, O. , Demirel, Z., Uluçam B.," Nehir Suyu Kalite Modellemesi, Göksü Nehri", XI Ulusal Ekoloji Ve Çevre Kongresi,Cilt1,Sayfa:256,1-4 Ekim 2013 - Samsun/Türkiye. “Poster Sunum”.

16. Özer, O. , Demirel, Z., "Evaluation Of Seawater Intrusion To Groundwater By Hydrochemical Data In Göksü Delta",VI.Geochemistry Symposium with International Participation, 13-17 May 2014, Mersin/TURKEY."Poster presentation".

17. Özer O.," Use of İsootope Techniques to Determine The Source Of Nitrogen Compounds in Grounwater", ICOEST’2014, Side, Turkey, May 14 – 17, 2014“poster presentation.

18. Özer O.,"Groundwater Pollution from sourced agricultural activities ; GÖKSU DELTA", 2nd International Symposium On Innovative Technologies In Engineering And Science , ISITES2014 Karabuk - TURKEY, June 18-20, oral presentation.

