

Stuyfzand Hidrojeokimyasal Modelleme Sistemi: Gümüşhacıköy (Amasya) Akiferi Örneği

Stuyfzand Hydrogeochemical Modeling System: A case Study of Gümüşhacıköy (Amasya) aquifer

Arzu FIRAT ERSOY

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon.

Hakan ERSOY

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon.

Makale Geliş Tarihi: 2 Şubat 2008, Kabul Tarihi : 2 Mayıs 2008

Received: 2 February 2008, Accepted: 2 May 2008

Öz

Doğada, su tiplerini belirlemek amacıyla geliştirilen yaklaşık 10 farklı sınıflama sistemi bulunmaktadır. Mevcut sınıflama sistemlerinin bir kombinasyonu olan Stuyfzand Sınıflama Sistemi, yeraltısuyu ortamının hidrojeokimyasal gelişimini belirlemede önemli bir rol oynamaktadır.

Bu çalışmada, Merzifon-Gümüşhacıköy Havzası sınırları içerisinde yer alan Gümüşhacıköy Akiferi'nin hidrojeokimyasal evrimini belirlemek amacıyla akiferde bulunan toplam 79 sondaj kuyusunda yapılan su kimyası analiz sonuçları değerlendirilmiş ve yeraltısuyu kimyasal gelişimi ortaya konmuştur. Akiferde yapılan yeraltısuyu örnekleme 1951-1972 yılları arasında kapsayan 37 örnek ve 2003-2004 yıllarını kapsayan 49 örnekten oluşmaktadır. Çalışmanın sonucunda her iki örnekleme sonucunda geliştirilen hidrojeokimyasal model, Stuyfzand Sınıflama Sistemi'ne göre karşılaştırılarak yeraltısuyunun karakteristikleri ve hidrojeokimyasal gelişimi belirlenmiştir. Buna göre akiferde yıkanma NaHCO_3 'dan MgHCO_3 'ya doğru devam etmektedir. Gümüşhacıköy Akiferi'nin güney ve güneybatı kesimleri 1951-1972 yılları analiz sonuçlarına göre CaHCO_3 su tipinden oluşurken 2003-2004 yılları analiz sonuçlarına göre CaHCO_3 su tipindedir. Bir başka deyişle, ikinci analiz sonuçları yıkanma işleminin devam ettiğini göstermektedir. Stuyfzand Sınıflama Sistemi'nde açıklanan yıkanma işleminin Gümüşhacıköy Akiferi'nde batıdan doğuya doğru devam ettiği ve yeraltısuyu bileşiminin CaHCO_3 su tipine doğru değiştiği belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Stuyfzand Sınıflama Sistemi, Hidrojeokimya, Gümüşhacıköy Akiferi.

Abstract

Approximately 10 different systems of classification of natural water types were developed. Stuyfzand Classification System combines some features of existing classifications with new, strongly diagnostic criteria for subdivision. And this classification plays very important role for determination of hydrogeochemical evolution of groundwater plain.

In this study hydrochemical evolution of Gümüşhacıköy Plain was determined using Stuyfzand Classification System and totally 79 well water; 37 well water analyze results between 1951 and 1972, and 49 well water analyze results between 2003 and 2004, were compared with each other considering

this classification system. According to this classification system, the sequence concludes that freshening is going on from NaHCO_3^+ to MgHCO_3^+ . The south and southwest of the plain is formed CaHCO_3 water type according to the first analyses results but CaHCO_3^+ water type dominates the consequence of freshening to the second analyses results. Typical freshening is going on from west to east in time and the composition of the groundwater is turned into CaHCO_3^+ water type.

Keywords: *Stuyfzand Classification System, Hydrogeochemistry, Gümüşhacıköy Aquifer.*

GİRİŞ

Yeraltısuyu sınıflama sistemleri kaynak yönetiminde yaygın bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu sistemden geniş ölçekte birçok farklı amaç için de yararlanılmaktadır. Yeraltısularının sınıflama modeli ile ilgili takip edilen bir sistem yoktur ve bu nedenle sınıflama sistemleri kaynakların teknik özelliklerini karakterize etmek veya amaç ve ihtiyaçları belirlemek amacıyla geliştirilmiştir (Kreye ve diğ., 1998).

Sınıflama sisteminin geliştirilmesinde birçok faktör göz önünde bulundurulmak zorundadır. Sınıflama sistemi etkili ve çalışan kuyular için avantajlı olmalı, bunun yanı sıra su kimyası veri seti yeni bir kuyu ve örnekleme programı gerektirmeyecek şekilde yeterli olmalıdır. Teknik düzeyde, hidrojeolojide geniş ölçekte fonksiyonel olmak zorundadır (Kreye ve diğ., 1998).

Sınıflamanın en önemli amaçlarından bir tanesi akiferin hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve akifere ait hidrojeokimyasal sınırların çizilebilmesidir. Sınıflama var olan bilgilere dayandırıldığında, akifer sınırları kabul edilebilir koşullar (yeterli bilginin olması durumunda) ile genel yaklaşımlar (yeterli bilginin olmaması durumunda) arasında bulunmaktadır (Kreye ve diğ., 1998).

Sürekli yeraltısuyu kalitesi araştırmalarının amacı, yeraltısuyunun geçmişteki kalitesinin açık bir şekilde ortaya konması ve günümüzdeki özellikleri ile karşılaştırma imkanının bulunmasıdır (Nieto ve diğ., 2005).

Yeraltısuyu sınıflama sisteminin Gümüşhacıköy Akiferi'nde uygulanması, yeraltısuyunun özellikleri hakkında temel bilgilerin elde edilmesi ve yeraltısuyunu işletme stratejisinin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Gümüşhacıköy Akiferi'nde yeraltısuyu tarımsal sulamada ve endüstride yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yeraltısuyuna olan gereksinimin her geçen gün artması ile onu korumak ve planlı bir işletim yönetimi oluşturmak ovada kaçınılmaz hale gelmiştir. Çünkü yerel ve bölgesel ölçekli akifer sistemlerinde meydana gelen su kalitesi problemleri günümüzde oldukça önemli bir sorun haline dönüşmüştür. Bu nedenle daha etkili bir yeraltısuyu işletim programı belirlemek için yeraltısuyuna ait verilerin elde edilmesi ve etkili karar verme tekniği uygulanması gerekmektedir. Günümüzde oldukça sınırlı hale gelen su kaynaklarını detaylı bir şekilde tanımlamak ve farklı akifer tiplerini ortaya koymak için sınıflandırma sistemleri ülkemizde kullanılmaya başlamıştır. Sistemin en önemli amaçlarından bir tanesi; akiferin haritalanması, yönetim, koruma ve iyileştirme yöntemlerinin belirlenmesidir. Yeraltısuyu sınıflama sistemi ile akifer gelişimi açısından farklı evreler ayrılabilenekte, varsa yeraltısuyu kirlilik aşamaları belirlenebilmekte ve akifer hidrojeolojik açıdan ve su kullanımı açısından tanımlanabilmektedir.

MATERYAL VE METOT

Gümüşhacıköy Akiferi'nde 2007 yılı itibarı ile tarımda sulama, içme ve kullanma suyu olarak kullanılmak üzere açılmış olan toplam 167 adet sondaj kuyusu bulunmaktadır. Bu kuyu sularının 37 adedinde 1951-1972 yılları arasında Devlet Su İşleri tarafından kimyasal analizler yapılmıştır. Bu çalışmada Stuyfzand Sınıflama Sistemi'nin uygulanmasında 1. aşamada bu ilk analiz sonuçları kullanılmıştır. Daha sonra 2003-2004 yılları arasında analizlerin bu makalenin yazarları tarafından yenilenmesi önerilmiş ve 49 adet kuyuda kimyasal analizler tekrarlanmıştır. 2003-2004 yılları arasında yürütülen örnekleme çalışmaları sırasında sondaj kuyularına ait su örnekleri 1000 ml'lik polietilen şişelerde pH değeri 2'ye düşürülecek şekilde alınmıştır. Su örneklerine ait kimyasal analizler Devlet Su İşleri VII. Bölge Müdürlüğü Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğü'nde yapılmıştır. Su örneklerinin sıcaklık arazide, pH ve Elektriksel İletkenlik değeri ise laboratuvarında ölçülmüştür.

ÇALIŞMA ALANI

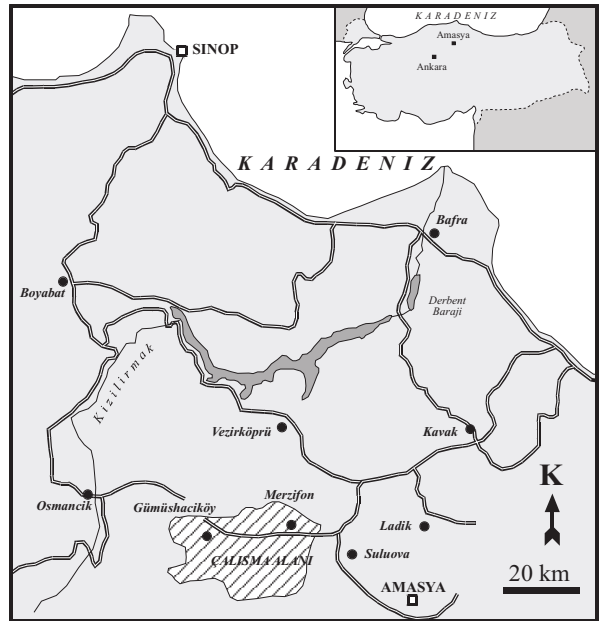
Çalışma alanı Orta Karadeniz Bölümü içerisinde, Amasya İli'ne 35 km uzaklıkta ve Samsun İli'nin 100 km güneybatısında bulunmaktadır. Havzanın beslenme alanı 1/100.000 ölçekli Çorum G34 ve Çorum G35 paftaları içerisinde yer almakta ve 1060.44 km²'lik bir havza alanını kapsamaktadır. Havzanın batısında yer alan Gümüşhacıköy İlçesi ve çevresindeki serbest ve basınçlı akiferden oluşan saha Gümüşhacıköy Akiferi, havzanın doğusunda yer alan Merzifon ilçesi ve yakın çevresindeki serbest akifer ise Merzifon Akiferi olarak isimlendirilmiştir. Merzifon Akiferi 40.43 km² Gümüşhacıköy Akiferi ise 300.225 km²'lik bir alanda yayılım göstermektedir (Şekil 1).

Havzada sürekli akış gösteren en önemli akarsu, akiferi batıdan doğuya doğru kat eden Gümüşsuyu Deresi'dir. Gümüşsuyu

Deresi'nin mevsimlik akış gösteren Köşeler Deresi ve İmirler Deresi olmak üzere iki ana kolu bulunmaktadır.

Çalışma alanı iklim özellikleri açısından Karadeniz ile İç Anadolu iklim kuşağı geçiş bölgesinde yer almaktadır. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise soğuk ve yağışlı geçmektedir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından işletilen Merzifon Meteoroloji İstasyonu'na ait 40 yıllık rasatların ortalamasına göre; ortalama toplam yıllık yağış 417 mm, yıllık ortalama sıcaklık 11.33 C ve potansiyel buharlaşma 680 mm'dir (DSİ, 2005).

Gümüşhacıköy Akiferi'nde 2006 yılı itibarı ile toplam 167 adet sondaj kuyusu bulunmaktadır. Bu kuyular Gümüşhacıköy Ovası'nda sulama suyu olarak, sanayi kuruluşlarında ve ovadaki yerleşim merkezlerinde içme ve kullanma suyu olarak kullanılmaktadır (Fırat Ersoy, 2007).

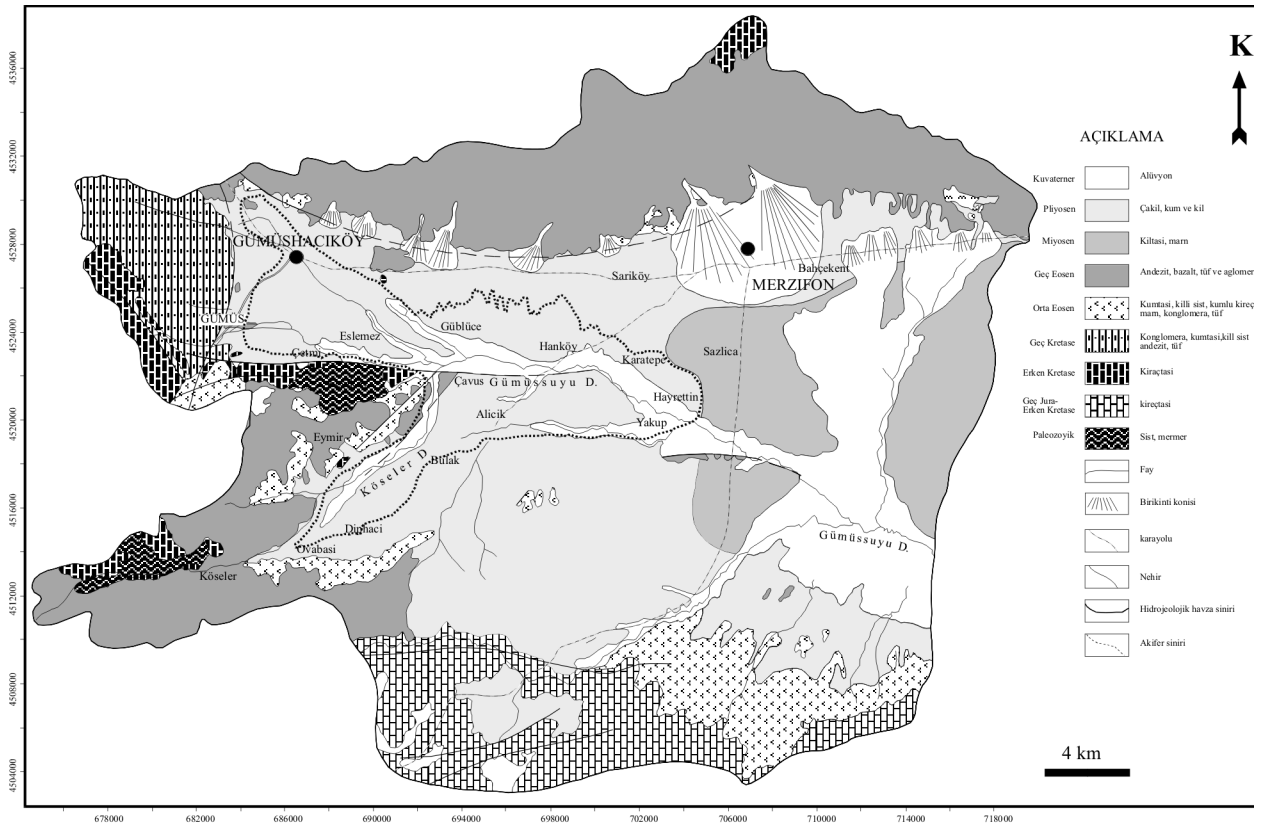


Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası
Figure 1. Location map of study area

JEOLJİ

Çalışma alanında yüzeylenen en yaşlı birim Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalardır. Metamorfik birimler, killi şist, klorit şist, yeşil şist, mermer ve rekristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır. Metamorfik kayalar üzerine Geç Jura-Erken Kretase yaşlı kalın tabakalı, fosilli, oldukça sert ve çatlaklı kireçtaşlarından oluşan birim gelmektedir. Erken Kretase yaşlı pembe renkli, sert ve ince tabakalı kireçtaşları Jura kireçtaşının üzerinde bulunmaktadır. Erken Kretase yaşlı birimin üzerinde Geç Kretase yaşlı konglomera, marn arakatkılı ve fosilli kumtaşı, kireçtaşı, tuf ve aglomara arakatkılı andezitler bulunmaktadır. Çalışma alanında Orta Eosen

Döneminde konglomera, kumtaşı ve kireçtaşlarından oluşan birim meydana gelmiştir. Orta Eosen yaşlı birimin üzerinde Geç Eosen yaşlı andezit, tuf ve aglomeralar ile bunlarla arakatkılı kireçtaşı ve kumtaşı bulunmaktadır. Akiferde Miyosen dönemde ince katmanlı kiltası ve mavi renkli marnlar oluşmuştur. Miyosene ait bu birimin üzerinde Pliyosen yaşlı gevşek malzemeden oluşan kil, kum ve çakıl bulunmaktadır. Çalışma alanındaki en genç birim Kuvaterner yaşlı alüvyonlardır. Altuğ ve Atalay (1974)'ten değiştirilerek hazırlanan Gümüşhacıköy Akiferi'ne ait jeoloji haritası Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası
Figure 2. Geological map of study area

HİDROJEOLOJİ

Merzifon-Gümüşhacıköy Havzası'nda yeraltısuyu taşıyan birimler, Kuvaterner yaşlı ve ayrık şekilde bulunan blok, çakıl, kum ve kil karışımından oluşan alüvyon ile Pliyosen yaşlı gevşek ve tutturulmamış özelliğe sahip çakıl, kum ve kil boyutunda malzemedan oluşan Söğütlü Formasyonu'dur. Gümüşhacıköy Akiferi'nde yeraltısuyu Kuvaterner yaşlı alüvyon ile Pliyosen yaşlı killi, kumlu ve çakıllı seviyelerde bulunmaktadır. Bu seviyeler yüksek iletkenlik ve depolama özelliğine sahip olduğu için yeraltısuyunun depolanması ve iletilmesi açısından önem taşımaktadır.

Gümüşhacıköy Akiferi'nin kuzey ve batı kesimlerinde Pliyo-Kuvaterner yaşlı gevşek yapılı malzemenin içerisinde geçirimsiz bir örtü tabakası bulunmadığı için akifer bu bölgede serbest akifer özelliğindedir. Ovanın doğusuna doğru gidildikçe Pliyo-Kuvaterner yaşlı malzemenin üzerinde geçirimsizliği çok düşük olan ve genellikle yüzeyden itibaren 210 m derinliğe ulaşan kil örtünün varlığı sondajlar ile belirlenmiştir. Bu kil tabakanın kalınlığı akiferin orta kesimlerinden doğuya doğru gidildikçe artmaktadır.

Gümüşhacıköy Akiferi'ni, İmirler Deresi, Köşeler Deresi, Alıcık Deresi ve mevsimlik akış gösteren yan derelerin çevre formasyonlardan getirdikleri blok, çakıl, kum, silt ve kil boyutlu gevşek yapılı malzemedan oluşmaktadır.

Gümüşhacıköy Akiferi'nde yeraltısuyu akım yönü İmirler Vadisi'nde kuzeybatıdan güneydoğuya doğru; Köşeler Vadisi'nde güneybatıdan kuzeydoğuya doğru ve Gümüşsuyu Vadisi'nde batıdan doğuya doğrudur (DSİ, 1973).

HİDROJEOKİMYA

Gümüşhacıköy Akiferi'nde hidrojeolojik amaçlı ilk çalışmalar Devlet Su İşleri tarafından 1951 yılında başlatılmıştır. Akiferde 2006 yılı itibarı ile 167 adet sondaj kuyusu bulunmaktadır.

Bu kuyulardan 154'ü ovada sulama ve sanayi tesislerinde kullanılmakta, 13'ü ise yerleşim yerlerinde içme suyu olarak kullanılmaktadır. 1951-1972 yılları arasında açılan kuyulardan 37 tanesine ait kimyasal analiz sonuçları değerlendirilerek Stuyfzand Sınıflama Sistemi oluşturulmuştur. Daha sonra 2001 yılında ovada revizyon çalışmaları başlamış ve akiferde yer alan 49 adet kuyuda Devlet Su İşleri VII. Bölge Müdürlüğü tarafından kimyasal analizler tekrar yaptırılmıştır. 2003-2004 yıllarında yaptırılan 49 adet kimyasal analiz sonucu kullanılarak Stuyfzand Sınıflama Sistemi tekrarlanmıştır. Her iki sınıflama sistemi birbiri ile karşılaştırılarak Gümüşhacıköy Akiferi'nin hidrojeokimyasal gelişim mekanizması belirlenmiştir. Çizelge'de Gümüşhacıköy Akiferi'nde yer alan kuyulara ait kimyasal analiz sonuçlarına göre su örneklerinin pH, Elektriksel İletkenlik (EC) ve Toplam Sertlik değerleri; Çizelge 2'de ise su örneklerinin majör anyon ve katyon değerleri yer almaktadır.

Çizelge 1. Su örneklerinin pH, EC ve Toplam Sertlik değerleri (2003-2004 yıllarına ait)

Table 1. pH, EC and total hardness value of the water samples (belong to 2003-2004 years)

	<u>22013</u>	<u>17156</u>	<u>53060</u>	<u>52990</u>	<u>53055</u>	<u>20099</u>	<u>22191</u>	<u>23</u>	<u>53806</u>	<u>20175</u>	<u>4</u>	<u>14581</u>	<u>14583</u>
Ph	6,9	8	7,9	8	7,3	7,2	6,9	7,4	7,2	7,6	7,4	7,4	7
EC (mikroS/cm)	724	729	601	546	596	617	979	723	659	509	638	587	1276
TS (°Fr)	36,75	23,25	26,5	22	28,75	29,5	47,25	31,25	28,5	22,5	30,75	28	57,75
	<u>14584</u>	<u>2</u>	<u>19308</u>	<u>28798</u>	<u>30714</u>	<u>52424</u>	<u>52425</u>	<u>22160</u>	<u>22163</u>	<u>20852</u>	<u>20850</u>	<u>53030</u>	<u>32</u>
Ph	7,1	6,8	6,9	7	9,9	8,7	7,9	8,2	8,2	8	8,2	7,7	7,4
EC (mikroS/cm)	915	646	745	646	551	653	1224	950	755	560	540	640	918
TS (°Fr)	38,75	30,75	35,5	31,5	2,5	20,9	35,55	32,75	29,15	21,9	19,35	25,4	41,2
	<u>33995</u>	<u>66</u>	<u>18743</u>	<u>50362</u>	<u>53054</u>	<u>52989</u>	<u>45472</u>	<u>57919</u>	<u>7216</u>	<u>47</u>	<u>25</u>	<u>39</u>	<u>100</u>
Ph	7,4	7,3	7,2	6,9	7	6,9	7,2	7	7,3	8,2	8,1	7,4	7,3
EC (mikroS/cm)	632	704	796	755	612	827	551	816	571	1122	714	694	643
TS (°Fr)	32,9	35,2	37,15	41,4	33,85	42,7	29,15	41,95	27,65	35,05	27,45	34,95	32,4
	<u>101</u>	<u>102</u>	<u>103</u>	<u>27</u>	<u>64</u>	<u>28</u>	<u>14</u>	<u>16</u>	<u>5</u>	<u>17</u>			
Ph	7,2	7,4	7,1	7,4	7,5	7,1	6,9	7,3	7,1	7,3			
EC (mikroS/cm)	665	620	714		598	612	673	476	683	479			
TS (°Fr)	34,95	32,45	38,95	37,45	32,4	33,9	36,65	24,9	37,15	25,1			

(mg/l)	22013	17156	53060	52990	53055	20099	22191	23	53806	20175	4	14581	14583
Ca ¹²	91,2	58,1	69,1	58,1	77,2	82,2	133,3	79,2	73,1	63,1	83,2	84,2	147,3
Mg ²⁺	34	21,3	22,5	18,2	23,1	21,9	34	28	24,9	16,4	24,3	17	51,1
Na ⁺	29,9	69,9	29,9	26,91	16,1	17,04	28,98	34,96	28,98	23	11,96	14,03	42,09
K ⁺	1,95	2,34	1,56	1,56	0,78	1,56	3,12	1,56	1,17	1,17	1,56	1,17	5,07
HCO ₃ ⁻	373	247,5	225	320	245	245	385	270	275	220	282,5	220	445
Cl ⁻	11,4	19,9	21,3	15,6	19,9	12,8	44	9,9	18,5	11,4	9,94	9,9	60,4
SO ₄ ²⁻	109,4	107,5	73,9	39,4	48,5	68,2	88,8	102,2	46,6	38,9	37,4	74,9	139,7
NH ₄ ⁺	0	0	0	0	0	0	0,05	0,1	0,15	0,15	0,05	0,4	0,05
NO ₂ ⁻	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO ₃ ⁻	4,63	3,03	5,36	2,93	5,07	4,96	1,313	5,54	3,23	5,17	2,62	5,88	15,61

(mg/l)	14584	2	19308	28798	30714	52424	52425	22160	22163	20852	20850	53030	32
Ca ¹²	89,2	92,8	104,2	88,2	4	36	57	50	75	54	47	55	100
Mg ²⁺	40,1	19,5	23,1	23,1	3,6	28,6	51,1	48,6	24,9	20,1	18,2	28	38,9
Na ⁺	42,09	13,11	19,09	11,04	106,3	59,11	126,04	69,92	41,86	29,9	37,3	31,05	49,91
K ⁺	3,12	6,24	2,34	6,63	0,78	1,95	3,51	1,17	1,95	1,56	3,51	1,95	1,56
HCO ₃ ⁻	320	275	297,5	307,5	21,5	275	340	352,5	257,5	245	250	227,5	337,5
Cl ⁻	32,7	12,8	21,3	11,4	18,5	14,2	35,5	48,3	15,6	18,5	14,2	11,4	14,2
SO ₄ ²⁻	112,3	49	69,2	23	14,9	41,8	231,4	55,7	99,8	13	7,2	75,8	156,5
NH ₄ ⁺	0	0	0	0	0,3	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05	0,2	0,05
NO ₂ ⁻	0	0	0	0	0	0,001	0,001	0,004	0,004	0	0	0	0
NO ₃ ⁻	10,69	4,05	7,74	3,85	0	0,1	7,3	6,75	3,35	3,05	3,35	3,4	4,55

(mg/l)	33995	66	18743	50362	53054	52989	45472	57919	7216	47	25	39	100
Ca ¹²	86	78	97	112	104	110	84	89	73	55	48	81	77
Mg ²⁺	27,4	37,7	31	32,2	18,8	36,5	19,5	41,3	22,5	51,1	37,1	35,3	31,6
Na ⁺	17,94	23,92	41,86	23	13,11	39,1	13,11	22,08	17,94	101,89	49,91	23,92	28,98
K ⁺	1,56	1,95	1,95	1,17	0,78	1,17	1,17	1,95	1,17	1,95	1,95	2,73	5,46
HCO ₃ ⁻	307,5	345	302,5	377,5	257,5	310	232,5	325	235	385	250	320	375
Cl ⁻	11,4	9,9	14,2	7,1	18,5	17	24,1	15,6	25,6	53,3	21,3	9,9	9,9
SO ₄ ²⁻	43,2	43,7	135,4	73,4	80,2	170,4	51,4	116,2	42,7	107	99,4	66,2	3,4
NH ₄ ⁺	0	0	0	0,05	0	0	0	0,05	0,05	0,5	0,05	0,2	0
NO ₂ ⁻	0	0	0,03	0,001	0,002	0	0	0	0,002	0	0,002	0	0
NO ₃ ⁻	2,7	4,75	6,7	4,95	9,3	6,25	9	8	7,35	6,35	4,65	1,8	1,05

(mg/l)	101	102	103	27	64	28	14	16	5	17			
Ca ¹²	71	62	93	88	80	90	101	64	92	73			
Mg ¹²	41,3	40,7	37,7	37,1	29,8	27,4	27,4	21,3	34	16,4			
Na ⁺	14,95	13,1	19,09	11,96	13,11	14,03	23	14,03	16,1	13,11			
K ⁺	5,07	5,46	3,12	0,78	1,17	1,56	0,78	0,78	1,17	0,78			
HCO ₃ ⁻	372,5	340	400	372,5	337,5	310	307,5	195	320	225			
Cl ⁻	7,1	8,5	8,5	7,1	8,5	21,3	11,4	8,5	8,5	11,4			
SO ₄ ²⁻	3,8	5,8	20,2	16,3	2,9	28,8	88,8	69,1	71,5	37			
NH ₄ ⁺	0	0	0	0	0,1	0	0,1	0,05	0	0			
NO ₂ ⁻	0	0	0	0	0	0,004	0,001	0,001	0	0,001			
NO ₃ ⁻	0,95	3,25	0,05	2,3	0,65	2,3	5,9	4	5,5	5,1			

Çizelge 2. Su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları (2003-2004 yıllarına ait)
Table 2. Chemical analyze results of the water samples (belong to 2003-2004 years)

STUYFZAND SINIFLAMA SİSTEMİ

Stuyfzand (1986), mevcut sınıflama sistemlerinin özelliklerini birleştirerek akifer sistemlerine uygulanan hidrojeokimyasal sınıflama sistemi geliştirmiştir. Stuyfzand Sınıflama Sistemi, bir akiferdeki farklı su tiplerinin belirlenmesi esasına dayanmakta ve yeraltısuyundaki katyon değişim prensibinin ortaya konması açısından önem taşımaktadır. Bu yöntem Stuyfzand tarafından ilk kez 1985 yılında kıyılardaki akiferlerde tatlı su-tuzlu su girişimi nedeniyle katyon değişiminin meydana geldiği akifer sistemleri için geliştirilmiştir. Daha sonra 1986 yılında Stuyfzand bu sınıflama sistemini tüm akifer sistemlerine uygulanabilir duruma getirmiştir.

Bir akifer sisteminde su tipinin belirlenmesi, su örneğinin başlıca ana tür, tür, alt tür ve sınıf bileşenlerinin belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Stuyfzand Sınıflama Sistemi'nde 6 ana tür, 11 tür, 16 alt tür ve 3 sınıf bulunmakta ve su türlerinin farklı kombinasyonları ile 3168 tür tanımlanabilmektedir. Doğada bu su tiplerinin birçoğu bulunmamasına rağmen yine de karmaşık durumlarda ortaya çıkan su tipi sayısı gereksiz bir şekilde yüksek olmaktadır. Bu durumda karışıklığı önlemek için birçok su tipi birleştirilerek kullanılmaktadır. Çizelge 3'te bir su örneğinin ana tür, tür, alt tür ve sınıf bileşenleri

açısından gruplandırılması verilmektedir. Stuyfzand Sınıflama Sisteminde su örneğinin ana türü belirlenirken Cl⁻ içeriği dikkate alınmaktadır. Cl⁻ (mg/l) içeriğine sular F ile H arasında değişen farklı kodlarla tanımlanmakta ve tatlı tipteki sulardan süper tuzlu sulara kadar isimlendirilmektedir (Çizelge 4). Sınıflama sisteminde su örneğinin türü belirlenirken Toplam Sertlik değeri kullanılmaktadır. Su örneğinin sertlik değeri 5 ile 2560 (°F) arasında değişmekte ve suyun kodu X ile 9 arasında numaralandırılmaktadır. Buna göre sular çok yumuşak su ile aşırı sert su arasında tanımlanmaktadır (Çizelge 5). Stuyfzand Sistemi'nde suyun alt türü belirlenirken suda hakim olan anyon-katyon çifti dikkate alınmaktadır. Şekil 3'teki üçgen diyagramlar kullanılarak sudaki baskın anyon-katyon çifti belirlenmektedir. Sınıflama sisteminde suyun sınıfı katyon değişim kodu ile belirlenmektedir. Katyon değişim kodu hesaplanırken su örneğindeki (Na+K+Mg) için düzeltme yapılarak kodu belirlenmekte ve su örneği (Na+K+Mg)_{fa z l a}, (Na+K+Mg)_{e k s i k} ve (Na+K+Mg)_{d e n g e d e} olarak isimlendirilmektedir (Çizelge 6). Stuyfzand Sınıflama Sistemi'nde yer alan 4 sınıflama kriterine isimlendirme yapıldıktan sonra bir su örneği için son isimlendirme Şekil 4'te görüldüğü gibi yapılmaktadır.

Çizelge 3. Stuyfzand Sınıflama Sistemi'nin 4 alt bölümden oluşan genel tablosu
Table 3. The hierarchical structure of the classification system, with four levels of subdivision.

İsmlendirme	Alt Bölüm	Kriter	Kod
Ana tür	6	Cl ⁻	F, F _b , B, B _s , S, H
Tür	11	Toplam sertlik	x, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
Alt tür	16	Hakim anyon-katyon	NaCl, NaSO ₄ , NaHCO ₃ , NaMix, KNO ₃ , NH ₄ SO ₄ , CaCl, CaSO ₄ , CaNO ₃ , CaHCO ₃ , CaMix, MgCl, MgHCO ₃ , MgMix, AlSO ₄ , FeSO ₄
Sınıf	3	(Na+K+Mg) düzeltilmiş	-, φ, +

Çizelge 4. Cl⁻ içeriğine göre su tipinin belirlenmesi

Table 4. Determination of the first symbol for water type according to the Cl content.

Ana tür	Kod	Cl ⁻ (mg/l)
Tatlı	F	<150
Tatlı-Az tuzlu	F _b	150-300
Az tuzlu	B	300-1000
Az tuzlu-Tuzlu	B _s	1000-10.000
Tuzlu	S	10.000-20.000
Çok tuzlu	H	>20.000

Çizelge 5. Toplam sertlik değerine göre su tipinin belirlenmesi

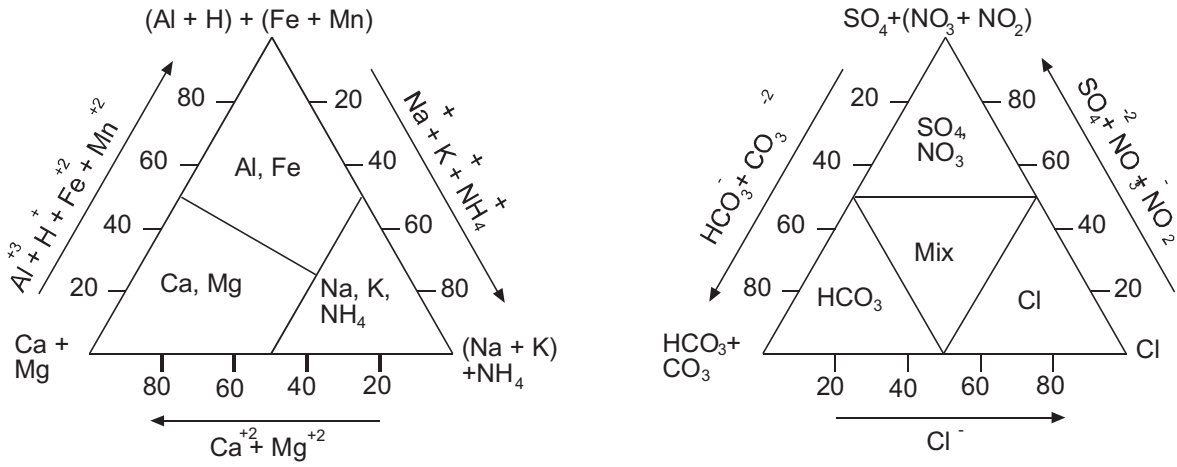
Table 5. Determination of the second symbol for water type according to the total hardness.

İsimlendirme	Kod	Toplam sertlik (°F)
Çok yumuşak	X	<5
Yumuşak	0	5-10
Kısmen sert	1	10-20
Sert	2	20-40
Çok sert	3	40-80
Çok fazla sert	4	80-160
Çok fazla sert	5	160-320
Çok fazla sert	6	320-640
Çok fazla sert	7	640-1280
Çok fazla sert	8	1280-2560
Çok fazla sert	9	>2560

Çizelge 6. Katyon değişim koduna göre su tipinin belirlenmesi

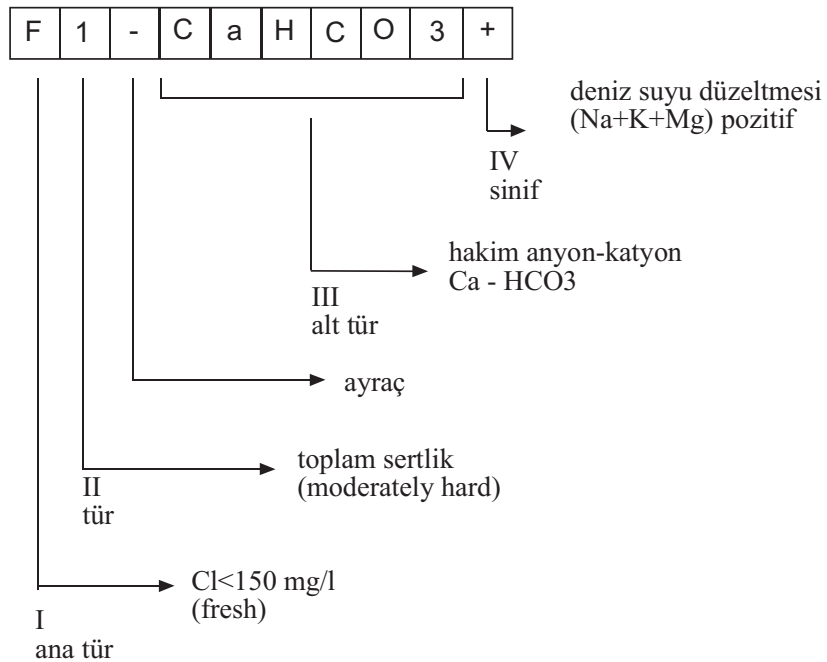
Table 6. Determination of cation exchange code

İsimlendirme	Kod	Açıklama
(Na+K+Mg)-eksik	-	$(Na+K+Mg)_{düzeltilmiş} < -(1/2 Cl)^{1/2}$
(Na+K+Mg)-dengede	φ	$-(1/2 Cl)^{1/2} \leq (Na+K+Mg)_{düzeltilmiş} \leq (1/2 Cl)^{1/2}$
(Na+K+Mg)-fazla	+	$(Na+K+Mg)_{düzeltilmiş} > (1/2 Cl)^{1/2}$



Şekil 3. Su örneğindeki hakim anyon-kasyon çiftinin belirlenmesi

Figure 3. Subdivision of types on the basis of the proportional share of main constituents in the sum of cations (left) and anions (right) in meq/l



Şekil 4. Su tipinin kodlanması ve isimlendirilmesi

Figure 4. Coding and explaining of a water type in 10 positions

STUYFZAND SINIFLAMA SİSTEMİ'NİN GÜMÜŞHACIKÖY AKİFERİ'NDE UYGULANMASI

1951-1972 Yılları Kimyasal

Analizlerine Göre Yapılan Sınıflama

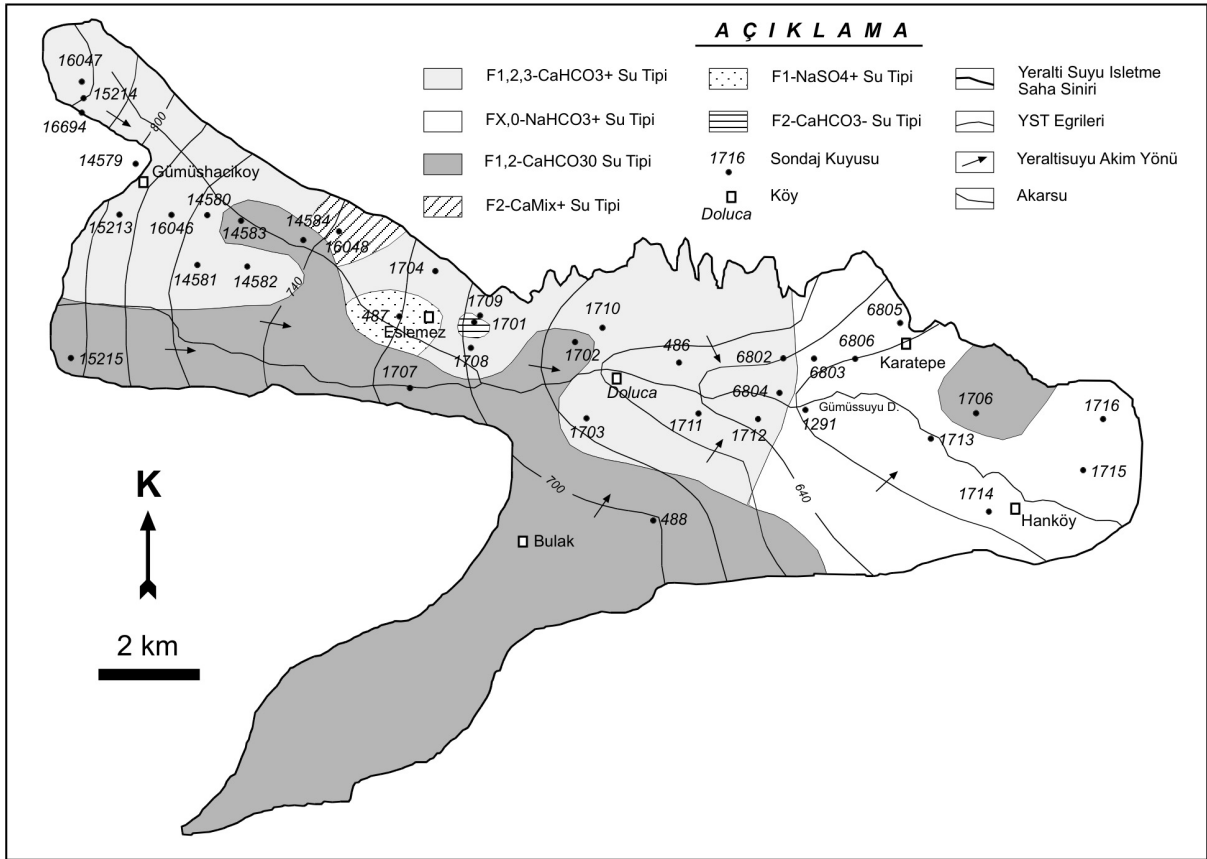
Gümüşhacıköy Akiferi'nde ilk hidrojeokimyasal örneklemeler 1951-1972 yılları arasını kapsayan ve aynı zamanda ovanın ilk hidrojeolojik bulgularını da içeren çalışmalar sırasında elde edilmiştir. Bu süre içerisinde akiferde yer alan kuyulardan 37 adedinde örnekleme yapılarak bu örneklere kimyasal analizler yapılmıştır. Kimyasal analiz sonuçlarında Stuyfzand Sınıflama Sistemi'nin gerektirdiği parametreler kullanılarak ilk verilere göre sınıflama sistemi oluşturulmuştur. Stuyfzand Sınıflama Sistemi'nde ilk sembol ile ifade edilen Cl⁻ içeriğine göre yeraltısuyunun "tatlı tip" su sınıfında olduğu diğer bir deyişle tüm örneklerin "F" karakteri ile tanımlandığı

belirlenmiştir. Sınıflamada 2. sembol olarak belirtilen Toplam Sertlik değerine akiferdeki yeraltısuyunun "yumuşak" ile "çok sert" arasında değişim gösterdiği ve sertlik değerlerinin "X" ile "3" arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Stuyfzand Sistemi'nde 3. sembol yeraltısuyundaki hakim anyon-katyon çiftine göre belirlenmektedir. Buna göre yeraltısuyundaki anyon-katyon çiftinin Şekil 3'teki üçgen diyagramların kullanılması ile CaHCO₃, NaHCO₃, Na-karışım, Ca-karışım ve NaSO₄, bileşiminde oldukları görülmektedir. Sınıflamada kullanılan 4. sembol olan katyon değişim kodunun belirlenmesi Çizelge 6 kullanılması ile yeraltısuyunun (Na+K+Mg)_{fazla}, (Na+K+Mg)_{eksik} ve (Na+K+Mg)_{dengede} olduğu belirlenmiştir. Sınıflama sisteminde kullanılan bu 4 bileşen bir araya getirilerek Gümüşhacıköy Akiferi için Stuyfzand Sınıflama Sistemi tablosu ve haritası elde edilmiştir (Çizelge 7, Şekil 5).

Çizelge 7. Gümüşhacıköy yeraltısuyunun 1951-1972 kimyasal analiz sonuçlarına göre hazırlanan Stuyfzand Sınıflama Sistemi tablosu

Table 7. Stuyfzand classification system of Gümüşhacıköy well waters according to 1951-1972 analyses results

Kuyu no	Su sınıfı	Kuyu no	Su sınıfı
486	F2-CaHCO ₃ +	6802	F1-CaHCO ₃ +
487	F1- NaSO ₄ +	6803	F0-NaHCO ₃ +
488	F2- CaHCO ₃ φ	6804	F1-CaHCO ₃ +
1291	F1-NaHCO ₃ +	6805	F0-NaHCO ₃ +
1701	F2-CaHCO ₃ -	6806	F0-NaHCO ₃ +
1702	F1-CaHCO ₃ φ	14579	F2-CaHCO ₃ +
1703	F1-CaHCO ₃ +	14580	F1-CaHCO ₃ +
1704	F2-CaHCO ₃ +	14581	F2-CaHCO ₃ +
1706	F1-CaHCO ₃ φ	14582	F2-CaHCO ₃ +
1707	F1-CaHCO ₃ φ	14583	F2-CaHCO ₃ φ
1708	F1-CaHCO ₃ +	14584	F3-CaHCO ₃ φ
1709	F1-CaHCO ₃ +	15213	F2-CaHCO ₃ +
1710	F1-CaHCO ₃ +	15214	F2-CaHCO ₃ +
1711	F1-CaHCO ₃ +	15215	F2-CaHCO ₃ φ
1712	F1-CaHCO ₃ +	16046	F2-CaHCO ₃ +
1713	Fx-NaHCO ₃ +	16047	F2-CaHCO ₃ +
1714	Fx-NaHCO ₃ +	16048	F2-CaMix+
1715	F0-NaHCO ₃ +	16694	F1-CaHCO ₃ +
1716	Fx-NaHCO ₃ +		



Şekil 5. Gümüşhacıköy yeraltısuyunun 1951-1972 kimyasal analiz sonuçlarına göre hazırlanan Stuyfzand Sınıflama Sistemi haritası

Figure 5. Stuyfzand classification system map designed according to 1951-1972 water analyses results of Gümüşhacıköy groundwater

Tablo 7'de görüldüğü gibi akiferde birçok su sınıfı bulunmaktadır. Pratikte bu sınıflamada CaHCO_3^+ ve CaHCO_3^0 tipinde olan sular iki ayrı su tipi olarak ve toplam sertliği 1 ve 2 numaralı olan sular tek su tipi olarak düşünülebilir. NaHCO_3^+ tipindeki sularda ise X ve 0 sertlik su sınıfları bir sınıf olarak kabul edilebilir. Sınıflama böylece daha genel hale gelmektedir. Buna göre akiferde elde edilen FX, F0- NaHCO_3^+ , F1, F2- CaHCO_3^+ ve F1, F2, F3- CaHCO_3^0 sınıfında bulunan su tiplerinin akiferin genelini oluşturduğu görülmektedir.

Şekil 5'te görüldüğü gibi Gümüşhacıköy Akiferi'nin kuzey ve kuzeybatı kesimlerinde yeraltısuyu F2- CaHCO_3^+ su tipindedir. Havzaya

tatlı yeraltısuyunun girişi ile katyon değişimi meydana gelmiş ve akiferin orta kesimleri F1- CaHCO_3^+ , batısı F2- CaHCO_3^+ ve güneybatısı F2- CaHCO_3^0 su tipine doğru değişim göstermiştir. Gümüşhacıköy Akiferi'nde yeraltısuyu akım yönünün kuzeybatıdan ve güneybatıdan doğuya doğru olduğu düşünüldüğünde yeraltısudaki yıkanmanın yeraltısuyu akım yönü ile uyumlu olarak geliştiği görülmektedir. Akiferin doğu ve güneydoğusunda yeraltısuyu FX, F0- NaHCO_3^+ su tipi ile karakteristiktir.

1951-1972 yılları arasını kapsayan yeraltısuyu örnekleme ile hazırlanan Stuyfzand Sınıflama Sistemi sonuçlarına Göre

Gümüşhacıköy Akiferi'nde tipik bir yıkanmanın hakim olduğu ve bu yıkanmanın akiferin batısından başlayarak doğusuna doğru geliştiği görülmektedir.

Kil mineralleri yüzeyinde adsorbe olan tuzlu su koşulları ortama tatlı suyun girişi ile tatlı su koşullarına dönüşmektedir. Böylece kil mineralinin yüzeyinde bulunan Na^+ , K^+ ve Mg^{++} katyonları Ca^{++} katyonu ile yer değiştirmekte ve bunun sonucunda yeraltısuyunda NaHCO_3 ve CaHCO_3 su tipleri oluşmaktadır. Gümüşhacıköy Akiferi'nde NaHCO_3 ve CaHCO_3 , su tipinin hakim olduğu ve yeraltısuyu akım yönü de dikkate alındığında akiferde yıkanmanın doğuya gidildikçe arttığı belirlenmiştir. Akiferde yeraltısuyu bileşimindeki değişim katyon değişiminin sonucunda meydana gelmektedir. Katyon değişimi ovanın batısında son aşamada bulunmaktadır ve bu bölgede yeraltısuyu CaHCO_3 , ϕ tipindedir. Akiferin doğusunda ve güneydoğusunda ise katyon değişimi henüz devam etmektedir ve bu bölgede yeraltısuyu NaHCO_3 tipinde bulunmaktadır.

Bir akiferde yıkanma gerçekleşebilmesi için başlangıç şartlarının $\text{SNaCl}\phi$ olduğu kabul edilmektedir. Bu durumda ortam, ilksel deniz suyu ile karakterize edilmekte ve deniz suyunda beslenmenin etkisiyle yıkanma işleminin gerçekleşmesi ile deniz suyu koşulları S (tuzlu)'den F (tatlı)'ye doğru değişim göstermektedir. Deniz suyunun yıkanması;

S(Tuzlu) Bs(Az tuzlu-tuzlu) B(Az tuzlu)
Fb(Tatlı-az tuzlu) F(Tatlı)

şeklinde gerçekleşmektedir.

Yıkanma işleminde ikinci aşama kil minerallerinin katı matriks yüzeyinde gerçekleşen katyon değişimi prosesidir. Kil mineralinin yüzeyi değiştirici rol oynamakta ve gözeneklerdeki tuzlu su yıkanmaya

başlamaktadır. Na^+ , K^+ ve Mg^{++} gibi denizel koşulları ifade eden katyonlar yıkanma sonucunda ortamdaki Ca^{++} konsantrasyonunu artması ile birlikte azalmaya başlar. Na^+ iyonu Ca^{++} ile yer değiştirmesi sonucunda ortamda Na^+ iyonu azalırken Ca^{++} iyonu artmaya başlamaktadır. Katyon değişim işlemi;



Şeklinde meydana gelmektedir. Buna göre NaHCO_3 , MgHCO_3 ve CaHCO_3 yıkanma işlemi sonucunda oluşan su tipleridir.

2003-2004 Yılları Kimyasal

Analizlerine Göre Yapılan Sınıflama

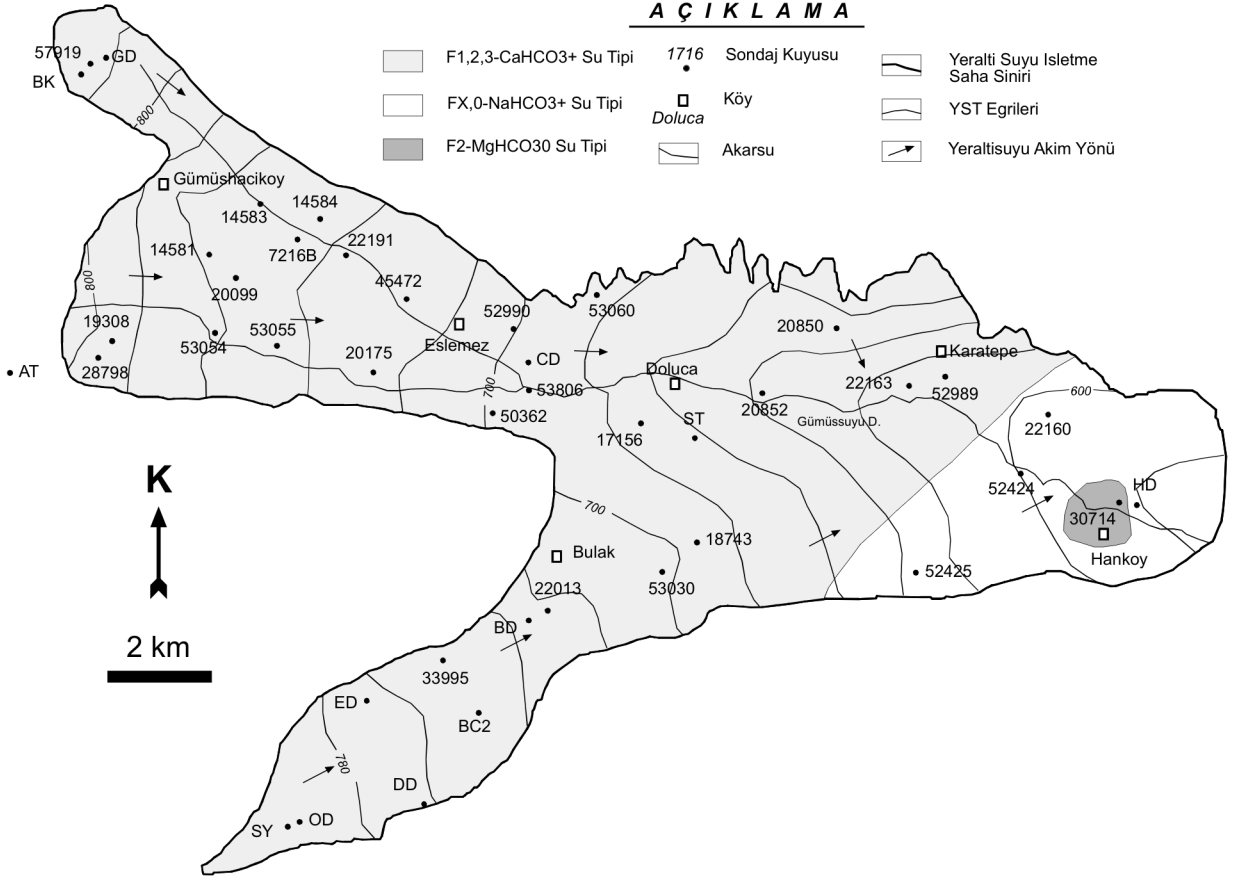
Gümüşhacıköy Akiferi'nde yapılan ilk kimyasal örneklemelerin ardından ovada 2001 yılında ayrıntılı hidrojeoloji çalışmaları başlamıştır. Bu çalışmalar sırasında, 2003-2004 yıllarında akiferde bulunan 49 adet kuyuda kimyasal analizler yenilenmiştir (Çizelge 8). Elde edilen kimyasal analiz sonuçları yeniden Stuyfzand Sınıflama Sistemi'nde değerlendirilerek akifere ait hidrojeokimyasal gelişim aşamaları belirlenmiştir.

Stuyfzand Sınıflama Sistemi'nde 1. sembol olan Cl içeriğine göre akiferdeki yeraltısuyunun “tatlı tip” su sınıfında olduğu, 2. sembol olan toplam sertlik değerine göre ise yeraltısuyunun “çok yumuşak” ile “çok sert” arasında değiştiği belirlenmiştir. Sınıflamada 3. sembol olan baskın anyon-katyon çiftine göre ise akiferdeki yeraltısuyunun NaHCO_3 , MgHCO_3 ve CaHCO_3 tipinde olduğu görülmektedir. Sınıflama sisteminde 4. sembol olan katyon değişim koduna göre yeraltısuyu akiferin tamamında $(\text{Na} + \text{K} + \text{Mg})_{\text{fazla}}$ tipinde bulunmaktadır. Böylece Stuyfzand Sınıflama Sistemi Gümüşhacıköy Akiferi'nde yeni analizler için tekrar hazırlanarak yeraltısuyunun hidrokimyasal değişimi yeniden haritalanmıştır (Şekil 6).

Haritada görüldüğü gibi Gümüşhacıköy Akiferi'nin batısı tamamen $F1,2,3-CaHCO_3+$ su tipinden oluşmakta iken, akiferin doğusunda dar bir alanda $FX,0-NaHCO_3+$ su tipinin hakim olduğu görülmektedir.

Çizelge 8. Gümüşhacıköy yeraltısuyununun 2003-2004 kimyasal analiz sonuçlarına göre hazırlanan Stuyfzand Sınıflama Sistemi tablosu
Table 8. Stuyfzand classification system of Gümüşhacıköy well waters according to 2003-2004 analyses results

Kuyu no	Su sınıfı	Kuyu no	Su sınıfı
22013	F2-CaHCO ₃ +	22163	F2-CaHCO ₃ +
17156	F2-CaHCO ₃ +	20852	F2-CaHCO ₃ +
53060	F2-CaHCO ₃ +	20850	F1-CaHCO ₃ +
52990	F2-CaHCO ₃ +	53030	F2-CaHCO ₃ +
53055	F2-CaHCO ₃ +	BC2	F3-CaHCO ₃ +
20099	F2-CaHCO ₃ +	33995	F2-CaHCO ₃ +
22191	F3-CaHCO ₃ +	SY	F2-CaHCO ₃ +
ST	F2-CaHCO ₃ +	18743	F2-CaHCO ₃ +
53806	F2-CaHCO ₃ +	50362	F3-CaHCO ₃ +
20175	F2-CaHCO ₃ +	53054	F2-CaHCO ₃ +
BK	F2-CaHCO ₃ +	52989	F3-CaHCO ₃ +
14581	F2-CaHCO ₃ +	45472	F2-CaHCO ₃ +
14583	F3-CaHCO ₃ +	57919	F3-CaHCO ₃ +
14584	F2-CaHCO ₃ +	7216B	F2-CaHCO ₃ +
AT	F2-CaHCO ₃ +	HD	F2-MgHCO ₃ +
19308	F2-CaHCO ₃ +	BD	F2-CaHCO ₃ +
28798	F2-CaHCO ₃ +	DD	F2-CaHCO ₃ +
30714	FX-NaHCO ₃ +	OD	F2-CaHCO ₃ +
52424	F2-MgHCO ₃ +	ED	F2-CaHCO ₃ +
52425	F2-MgHCO ₃ +	CD	F2-CaHCO ₃ +
22160	F2-MgHCO ₃ +	GD	F2-CaHCO ₃ +



Şekil 6. Gümüşhacıköy yeraltısuyunun 2003-2004 kimyasal analiz sonuçlarına göre hazırlanan Stuyfzand Sınıflama Sistemi haritası

Figure 6. Stuyfzand classification system map designed according to 2003-2004 water analyses results Gümüşhacıköy groundwater

KARŞILAŞTIRMA VE SONUÇLAR

Merzifon-Gümüşhacıköy Havzası içerisinde yer alan Gümüşhacıköy Akiferi'nde 1951-1972 yılları arasında gerçekleştirilen ilk hidrojeokimyasal örnekleme çalışmalarından elde edilen analiz sonuçları Stuyfzand Sınıflama Sistemi'nde değerlendirilmiş ve akifere ait hidrojeokimyasal sınıflama belirlenmiştir. Buna göre Gümüşhacıköy Akiferi'nin kuzey kesimlerinde yeraltısuyunun F2-CaHCO₃+ su tipinde olduğu, akiferin orta kesimlerinde F1-CaHCO₃+, batısında F2-CaHCO₃+ ve güneybatısında ise F2-CaHCO₃ su tipine doğru değişim gösterdiği belirlenmiştir. Gümüşhacıköy Akiferi'nde yeraltısuyu akım yönü batıdan, kuzeybatıdan ve güneybatıdan doğuya doğru gerçekleşmektedir. Akiferin doğu ve güneydoğusunda yeraltısuyu FX,F0-NaHCO₃+ su tipinden oluştuğu düşünüldüğünde akiferdeki yıkanmanın yeraltısuyu akım yönü ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Gümüşhacıköy Akiferi'nde 2002-2003 yıllarında yapılan ikinci örnekleme çalışmalarından elde edilen kimyasal analiz sonuçlarına göre ovada yeraltısuyu için yeniden haritalama çalışması yapılmış ve akiferdeki hidrojeokimyasal gelişim mekanizması Stuyfzand Sınıflama Sistemi'ne göre belirlenmiştir. Buna göre akiferin batısında yeraltısuyunun F1,2,3-CaHCO₃+ su tipinden oluştuğu, doğuda dar bir alanda ise FX,0-NaHCO₃+ su tipinin hakim olduğu belirlenmiştir.

Gümüşhacıköy yeraltısuyu için Stuyfzand Sınıflama Sistemi'ne göre hazırlanan iki harita karşılaştırıldığında önceki analiz sonuçlarına göre NaHCO₃+ su tipinde olan gölgenin sonraki analiz sonuçlarında MgHCO₃+ su tipine dönüştüğü belirlenmiştir. Bu da akiferde yıkanma etkisinin NaHCO₃+'ten MgHCO₃+'e doğru ilerlediğini göstermektedir. Yine ilk analiz sonuçlarına göre akiferin güneyi ve güneybatısı CaHCO₃ su tipinden oluşmakta iken sonraki

analiz sonuçlarına göre yeraltısuyunda meydana gelen yıkanma sonucunda CaHCO₃+ su tipine dönüştüğü belirlenmiştir. Her iki harita karşılaştırıldığında akiferde yıkanmanın zaman içerisinde batıdan doğuya doğru yeraltısuyu akım yönüne uygun olarak devam ettiği ve su tipinin CaHCO₃+ su tipine doğru geliştiği ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

- DSİ, 2006. Yıl Sonu Faaliyet Raporu, İşletme Bakım Şube Müdürlüğü, Samsun.
- DSİ, 1973. Merzifon-Gümüşhacıköy Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltıları Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Fırat Ersoy, A., 2007. Gümüşhacıköy (AMASYA) Akiferi'nin Yeraltısuyu Akım Modeli. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Doktora Tezi, 182s (Yayınlanmamış).
- Kreye, R., Ronneseth, K., Wei, M., 1998. An aquifer classification system for groundwater management in the British Columbia, Ministry of Environment, Lands and Parks Water Management Division, Hydrology Branch Province of British Columbia.
- Matthess, G., 1982. The properties of groundwater, John Wiley & Sons, New York, 406 pp.
- Nieto, P., Custodio, E., Manzano, M., 2005. Baseline groundwater quality: a European approach, Environmental Science and Policy, 399-409.
- Stuyfzand, P.J., 1985. Hydrochemistry and hydrology of the coastal dunes between Egmond Wijk aan Zee, KIWA report, SWE-85-012, 205 pp. Stuyfzand, P.J., 1986. New hydrochemical classification of watertypes: principles and application to the coastal dunes aquifer system of the Netherlands, Proceedings 9th Salt water Intrusion Meeting, Delft 12-16 May 1986, 641-655