

## Karaali (Şanlıurfa-Yardımcı) Sıcaksuyunun Oluşumu ve Rezervuar Sıcaklığının Tahmini

*Occuring and Reservoir Temperature Estimation of Karaali (Şanlıurfa-Yardımcı) Hotwater*

Müfit Şefik DOĞDU<sup>(1)</sup>, Hasan KIRMIZITAŞ<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> DSI Genel Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuyu Dairesi Başkanlığı, Etüt ve Değerlendirme Şubesi, 06100 Yücecepe Ankara (e-posta: mufitd@dsi.gov.tr)

<sup>(2)</sup> DSI V. Bölge Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Şube Müdürlüğü, Eskişehir Yolu 8. km, Ankara (e-posta: hasankirmizitas@yahoo.com)

### ÖZ

Karaali sıcaksuyu Şanlıurfa İli'nin 32 km güneydoğusunda, Yardımcı İlçesi'ne bağlı Karaali Köyü'nde yer almaktadır. Kuyu logları sıcaksuyun bölgede yaygın olarak soğuksu üretiminde kullanılan kireçtaşından alındığını göstermektedir. Bölgedeki fay hatları boyunca yüzeye yükselen sıcaksuyun, soğuksu içeren kireçtaşı akiferi içine yayıldığı ve soğuksuyla karışmasıyla sıcaklığının düştüğü düşünülmektedir. Bu incelemeyle, Karaali sıcaksuyunun karışımdan önceki sıcaklığının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, bölgedeki sıcak ve soğuk sulara ait analiz sonuçları silis-entalpi karışım modeli (SEKM) ve Cl-entalpi grafiğinde kullanılarak sıcak-soğuksu karışım yüzdesi belirlenmiştir. Bu yüzde değeri ile de Karaali sıcaksuyunun ilksel (soğuksu karışmadan önceki) kimyasal içeriği belirlenmiştir. Sıcaksuyun ilksel kimyasal içeriği katyon ve silis jeotermometrelerinde kullanılarak tahmini rezervuar sıcaklığı (TRS) hesaplanmaya çalışılmıştır. Silis-entalpi karışım modeli (SEKM) ile hesaplanan TRS değeri (132°C), %18 sıcaksu ve %82 soğuksu karışım kimyasal sonucunun kullanıldığı Na-K ve SiO<sub>2</sub> jeotermometreleri ile hesaplanan ortalama TRS değerleriyle (sırasıyla 138°C ve 132°C) oldukça uyumludur. Hesaplanan bu TRS ve karışım oranı ayrıntılı jeolojik haritalama, jeofizik ve su kimyası vb. çalışmalar ile desteklenmelidir.

**Anahtar kelimeler:** jeotermometre, Karaali, karışım, sıcaksu, Şanlıurfa.

### ABSTRACT

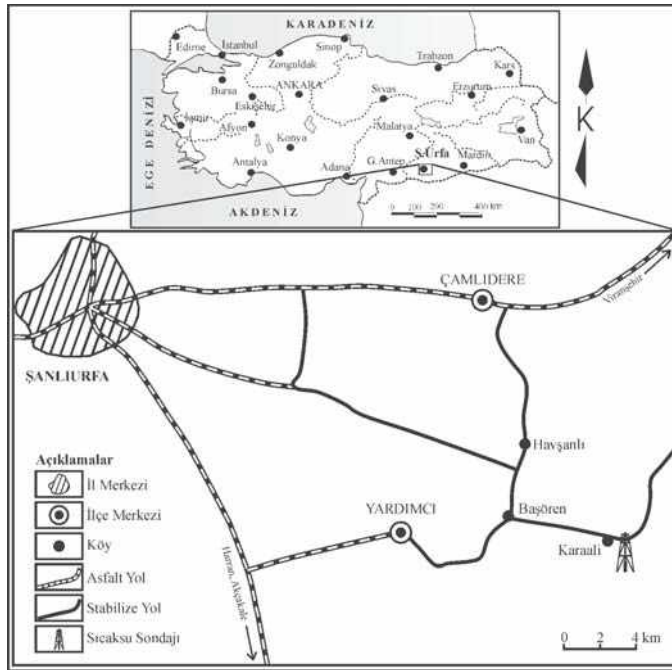
Karaali hot water is located 32 km south-eastern of Şanlıurfa Province, in Karaali Village at the eastern part of Yardımcı County. Drilling logs show that the hot water is obtained from limestone used extensively for production of cold water. It has been considered that ascending hot water throughout these fault lines is spreading into limestone aquifer by mixing with cold water, and because of this process temperature of hot water is decreased. Determination of the temperature of Karaali hot water before mixing has been purposed by this investigation. In the scope of that, mixing percentage of the hot and cold waters has been determined by using of the water chemistry data in silica-enthalpy mixing model (SEMM) and Cl-enthalpy graph. Initial (before mixing with cold water) chemical composition of Karaali hot water has been determined by this mixing percentage. Estimated reservoir temperature (ERT) of the hot water has been calculated by using of the initial chemical composition in silica and cation geothermometers. Calculated ERT (132°C) by silica-enthalpy mixing model (SEMM) is quite harmonious with the average of the Na-K and SiO<sub>2</sub> geothermometers' results (138°C and 132°C, respectively) which were applied to 18% hot and 82% cold water mixing. The ERT and mixing percentage of hot water inspected by SEMM, mixing calculation and geothermometers has to be supported by the other investigations including detail mapping, geophysical investigations, detail water chemistry etc.

**Key Words:** geothermometer, Karaali, mixing, hot water, Şanlıurfa.

## GİRİŞ

Karaali sıcaksuyu Şanlıurfa İli'nin yaklaşık 32 km güneydoğusunda, Harran Ovası'nda yer alan Yardımcı İlçesi'nin doğusunda bulunan Karaali Köyü'nde yer almaktadır (Şekil 1). Karaali Köyü civarında soğuksu temini amaçlı yapılan sondaj çalışmalarında sıcaksuya rastlanmıştır. Daha sonraları Karaali Köyü civarında şahıslar tarafından sıcaksu temin amaçlı sondajlar yapılarak derinlikleri 138-198 m ve debileri 20-36 l/s arasında değişen üç adet kuyudan 41.5-49.0°C sıcaklıkta su elde edilmiştir. Sondaj verileri incelendiğinde, sıcaksuların bölgede soğuksu temin amaçlı olarak yaygın şekilde kullanılan bol kırıklı-çatlaklı ve erime boşluklu kireçtaşlarından alındığı belirlenmiştir. Alandaki sıcaksu kuyuları fay hatlarına yakın bölgelerde yer almaktadır. Bu fay hatları boyunca yükselen sıcaksuların kireçtaşı akiferindeki soğuksularla karışarak sıcaklıklarının düştüğü, bunun yanı sıra debisinin arttığı düşünülmektedir. Bu incelemeyle Karaali

sıcaksuyunun soğuksu ile karışmadan önceki sıcaklığının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda ilk olarak bölgedeki sıcak ve soğuk suların kimyasal analiz sonuçlarına silis-entalpi karışım modeli (SEKM) uygulanarak sıcaksuyun tahmini rezervuar sıcaklığı (TRS) belirlenmeye çalışılmıştır. Bu model uygulaması sonucu belirlenen entalpi değeri, Cl-entalpi grafiğinde kullanılarak sıcaksuyun ilksel (soğuksu karışmamış) Cl değeri belirlenmiştir. Karışım hesaplamalarında korunumlu (conservative) kabul edilen bu Cl derişimi kullanılarak da sıcak ve soğuk suyun karışım oranları belirlenmiştir. Belirlenen bu karışım oranından itibaren sıcaksuyun ilksel iyon derişimleri hesaplanmış ve bu derişimler katyon jeotermometre eşitliklerinde kullanılarak TRS hesaplanmıştır. Belirlenen sıcaksu ilksel iyon derişimlerinin jeotermometre eşitliklerinde kullanılmasıyla ve silis-entalpi karışım modelinin uygulanmasıyla hesaplanan TRS sonuçları yorumlanmıştır.



Şekil 1. Alanın yer bulduru haritası.  
Figure 1. Location map of the area.

## JEOLOJİ ve HİDRODİNAMİK YAPI

Aşağıda verilen bölgenin jeolojik yapısı ve litolojik birimlerinin özellikleriyle ilgili bilgiler Uzel ve Kalkan (1992)'dan alınmıştır.

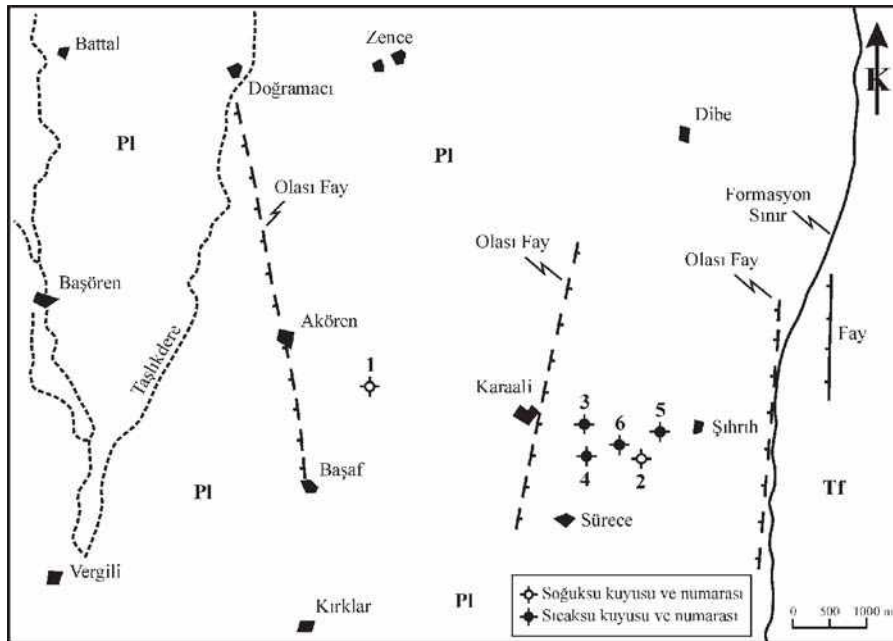
### Jeoloji

Karaali Köyü civarında Üst Eosen-Alt Miyosen yaşlı Fırat Formasyonu ile bunun üzerine uyumsuz olarak gelen Pliyosen yaşlı çökeller yüzeylenmektedir (Şekil 2). Alanda yüzeylenen litolojik birimlerden aşağıda kısaca bahsedilmiş ve Şanlıurfa İli dolayınının genelleştirilmiş stratigrafik istifi Şekil 3'de verilmiştir.

**Fırat Formasyonu (Tf):** İnceleme alanının doğusunda, kuzey-güney yönünde uzanan ve Harran Ovası'nı sınırlayan olası fay zonunun doğusunda kalan yükseltilerde mostra verir (Şekil 2). Değişik çalışmalarda bu formasyon Midyat (DSİ, 1972) ve Pirin Formasyonu olarak da adlandırılmıştır. Birim genellikle beyaz, kirli

beyaz, sarımsı yer yer pembemsi renkli, orta-kalın ve çok kalın tabakalı kireçtaşlarından oluşur. Gaziantep Formasyonu'nun üzerinde uyumlu olarak yer alır (Şekil 3). İnceleme alanında alt dokanağı gözlenemediğinden kalınlığı belirsizdir. Havzada ölçülen kesitlerde, kalınlığı 135-220 m arasında değişmektedir. Fırat Formasyonu Pliyosen yaşlı çökeller tarafından uyumsuz olarak örtülür.

**Pliyosen Çökelleri (P1):** Fırat Formasyonu'nun üzerine uyumsuz olarak gelen Pliyosen yaşlı çökeller genellikle tüm Harran Ovası'nda (Şekil 2) yüzeylenmektedir. Harran Ovası'nın oluşturduğu ilksel çukur alanları doldurmuş olan çökeller genellikle kil, kum ve çakıl taşlarından oluşur. Birim, ovada yaygın kırmızı killer ile, ova kenarlarında ise kireçtaşı çakıllı konglomeratik oluşuklar halinde gözlenir. Kalınlığı değişken olmakla beraber, sıcaksu sondajları çevresinde 140 m, ova ortasında ise 350 m'ye kadar ulaşmaktadır. Birim birçok araştırmacı tarafından Adıyaman Formasyonu olarak da adlandırılır (Şekil 3).



Şekil 2. Bölgenin jeoloji haritası (Erişen vd., 1996).  
Figure 2. Geological map of the area (Erişen et al., 1996).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON ADI	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	LİTOLOJİ AÇIKLAMASI
S E N O Z O Y İ K	K U V A T E R N E R	P L İ Y O S E N	K A R A C A D A Ğ	50		Alüvyon
			A D İ Y A M A N	100 - 300		Gri, beyaz, pembe, kırmızı renkli kiltaş, kumtaş, çakiltaş ve gösel kireçtaş ardalanması
	T E R S İ Y E R	E O S E N - O L İ G O S E N - A L T M İ Y O S E N	F İ R A T (P İ R İ N)	100 - 200		Beyaz, sarımsı, pembemsi renkli, orta - kalın tabakalı karstik kireçtaş
			G A Z İ A N T E P	200 - 400		Beyaz renkli, çörtlü, killi kireçtaş marn ardalanması

**Şekil 3.** Şanlıurfa İli dolayının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Uzel ve Kalkan, 1992).

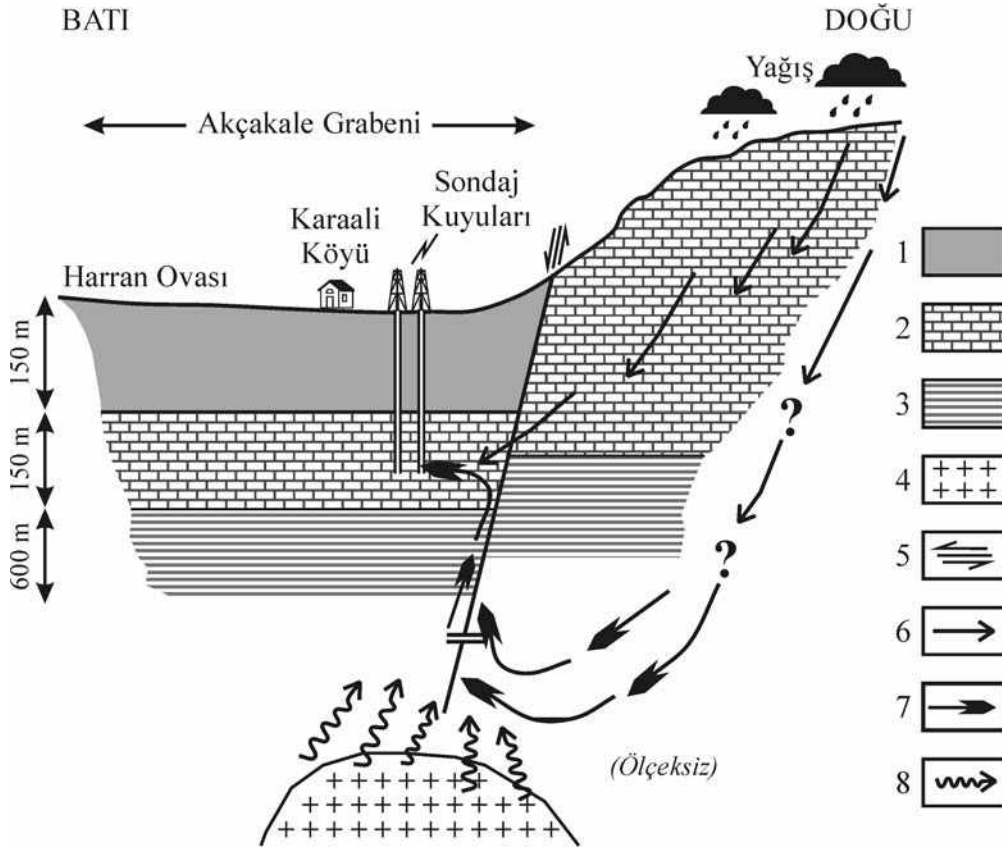
**Figure 3.** Generalized stratigraphic section of Şanlıurfa Province's vicinity (Uzel and Kalkan, 1992).

### Hidrodinamik Yapı

Midyat kireçtaşları olarak ta adlandırılan Fırat Formasyonu'nun iyi bir akifer olduğu bilinmektedir (DSİ, 1972). Nitekim Karaali sıcaksu sondajları Akçakale Grabeni içinde Harran Ovası'nın doğu sınırında bu birim içine

kadar delinmiştir (Şekil 4). Bu graben Miyosen ve sonrasındaki tektonik hareketlerle oluşmuştur (Tümer, 1987). Bu grabenin doğu sınırında yer alan ve sondajlara yakın olan fay sistemi yüzeyde gözlenmemektedir. Yapılan jeofizik ölçümlerde, Pliyosen yaşlı çökeller altında üç adet fay saptanmıştır (Uzel ve Kalkan, 1992). Alanda sıcaksu rezervuarını kireçtaşından oluşan Fırat Formasyonu oluşturmaktadır. Bu birimin yüksek alanlarda bulunan ve Pliyosen yaşlı çökellerle örtülmemiş bölümleri ve yakın bölgede geniş alanlar kaplayan ve kireçtaşları üzerinde yer alan bol soğuma çatlaklı volkanik kayalar (Şekil 3) sıcaksu rezervuarının beslenme alanıdır. Bu alanlardan sisteme giren yağış suları, derinlere süzülerek yüksek jeotermal gradyan ve olası magmatik sokulumlar ile ısınmakta ve sıcaksuları oluşturmaktadır. Derinlerde ısı kazanan sıcaksular fay hatları boyunca yüzeye doğru yükselmekte ve soğuksu içeren Fırat Formasyonu içerisine yayılmaktadır. Sistemin sıcaklık kaybını önleyen örtü kayaç birimlerini ise, Adıyaman Formasyonu olarak da adlandırılan Pliyosen yaşlı çökeller içindeki geçirimsiz kiltaş ve marn ardalanmaları oluşturmaktadır (Şekil 4). Karaali Köyü'nün doğusundaki sondajlarda Fırat Formasyonu'nda sıcaksuya, batısındaki sondajlarda ise aynı birimde soğuksuya rastlanmaktadır (Uzel ve Kalkan, 1992). Bu durumun, doğuda graben sınırına doğru veya başka bir deyişle fay hattına doğru sıcaksu gelişinin artması, grabeni sınırlayan doğu fayına bağlı olarak gelişen ve güncel etkinliği devam eden magmatik sokulum ile ilgili olduğu düşünülmektedir (Uzel ve Kalkan, 1992). Yakın çevrede magmatik etkinlik görülmemesine karşın, sahada Karacadağ Volkanizması'nın ürünleri Şanlıurfa-Mardin karayolu civarında bolca gözlenmektedir.





**Şekil 4.** Karaali Köyü civarı şematik jeoloji kesiti [1- Adıyaman Formasyonu (Pliyosen, kil, marn, kum ve çakıl ardalanması, örtü kayaç), 2- Fırat Formasyonu (Üst Eosen-Alt Miyosen, kırıklı-çatlaklı ve erime boşluklu kireçtaşı, rezervuar kayaç), 3- Gaziantep Formasyonu (Alt Eosen, çörtlü, killi kireçtaşı, marn ardalanması), 4- Magmatik sokulum (ısı kaynağı), 5- Fay, 6- Soğuksu sirkülasyonu, 7- Sıcaksu sirkülasyonu, 8- Isı taşınımı].

**Figure 4.** Schematic geological cross section of Karaali Village's vicinity [1- Adıyaman Formation (Pliocene, clay, marl, sand and gravel sequence, cap rock), 2- Fırat Formation (Upper Eocene-Lower Miocene, limestone with fractured and solution canal, reservoir rock), 3- Gaziantep Formation (Lower Eocene, sequence of cherty-clayey limestone and marl), 4- Magmatic intrusion (heat source), 5- Fault, 6- Coldwater circulation, 7- Hotwater circulation, 8- Heat transport].

#### SU KİMYASI VE KARIŞIM HESABI

Alandaki suların kimyasal özelliklerinin incelenmesi ve karışım hesabının yapılabilmesi için gerekli kimyasal analiz verileri Uzel ve Kalkan (1992)'dan alınmıştır. Çalışma kapsamında yapılan değerlendirmelerde kullanılan sıcak ve soğuksuların kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

İlk olarak, hesap ve değerlendirmelerde kullanılacak olan suların kimyasal analiz sonuçlarının doğruluğu kontrol edilmiştir. Kontrol aşağıdaki verilmiş olan “elektro

nötrality” eşitliğiyle yapılmıştır.

$$AH = \left| \frac{\sum \text{Anyon} - \sum \text{Kasyon}}{\sum \text{Anyon} + \sum \text{Kasyon}} \right| * 100$$

Burada; derişimler meq/l, AH: analiz hatasıdır ve doğru bir analizde AH değerinin %6'dan küçük olması istenir (APHA, 1989). 5 no.'lu Şıhrîh sıcaksuyunun analiz hatası (%13.29) %6'dan büyük olduğu için karışım hesaplamalarında bu analiz sonucu dikkate alınmamıştır.

**Çizelge 1.** Sıcak ve soğuksuların kimyasal analiz sonuçları.**Table 1.** Chemical analysis results of the hot and cold waters.

Örnek No.	1	2	3	4	5	6
Kuyu Adı	Akören-1	Şıhrıh-1	Sondaj-1	Sondaj-2	Sondaj-3	Sondaj-1
İl	Ş.Urfa	Ş.Urfa	Ş.Urfa	Ş.Urfa	Ş.Urfa	Ş.Urfa
İlçe	Yardımcı	Yardımcı	Yardımcı	Yardımcı	Yardımcı	Yardımcı
Köy	Akören	Şıhrıh	Karaali	Karaali	Şıhrıh	Karaali
Q (l/s)	30	45	20	26	36	38
Sıcaklık (°C)	29.5	21.0	41.5	34.0	49.0	48.0
pH	6.50	7.30	7.50	8.10	7.55	7.19
EC (µS/cm)	340	290	600	820	720	929
Ca (meq/l)	2.50	2.50	3.39	2.99	3.29	4.79
Mg (meq/l)	1.48	1.32	1.97	1.97	1.73	1.32
Na (meq/l)	1.74	0.65	2.52	2.74	2.13	3.19
K (meq/l)	0.08	0.06	0.23	0.06	0.14	0.03
HCO <sub>3</sub> (meq/l)	3.20	3.00	3.80	2.80	4.61	4.00
CO <sub>3</sub> (meq/l)	0.03	0.03	0.03	0.20	0.03	0.33
SO <sub>4</sub> (meq/l)	2.39	1.10	2.23	2.35	2.21	1.98
Cl (meq/l)	0.28	0.55	2.14	2.57	2.68	2.48
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	12.00	12.00	22.00	30.00	33.00	28.00
Toplam Anyon	5.90	4.69	8.21	7.92	9.53	8.79
Toplam Katyon	5.79	4.53	8.12	7.77	7.29	9.33
Analiz Hatası	0.92	1.77	0.56	0.97	13.29	-2.95

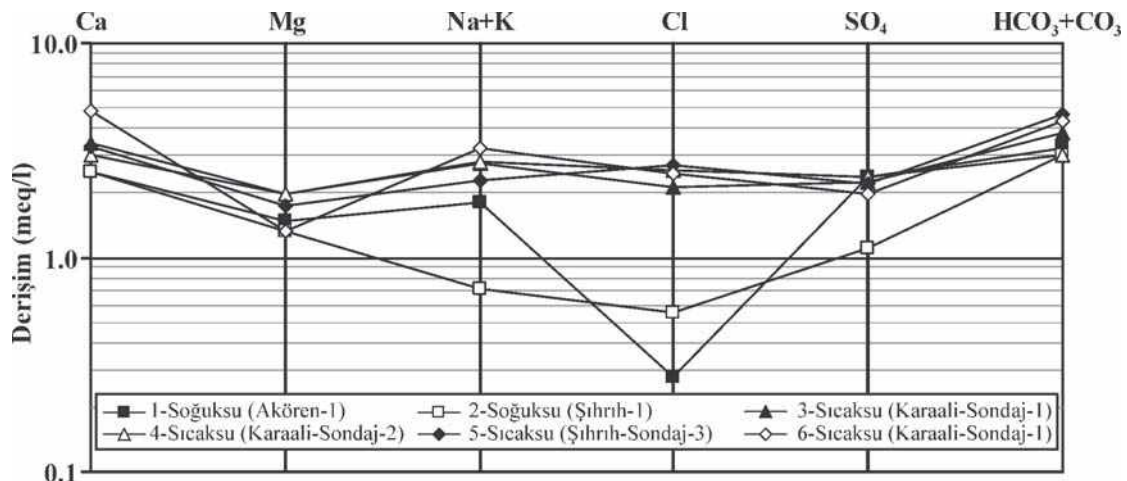
**Çizelge 2.** Suların katyon-anyon sıralaması ve tipleri (sıralama meq/l derişimine göre yapılmıştır).**Table 2.** Cation-anion order and type of the waters (ordering has been done by meq/l concentrations).

Örnek No.	Kuyu Adı	Katyon Sıralaması	Anyon Sıralaması	Su Tipi
1 (soğuksu)	Akören-1	Ca > Mg > Na+K	HCO <sub>3</sub> +CO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	CaCO <sub>3</sub>
2 (soğuksu)	Şıhrıh-1	Ca > Mg > Na+K	HCO <sub>3</sub> +CO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	CaCO <sub>3</sub>
3 (sıcaksu)	Sondaj-1	Ca > Na+K > Mg	HCO <sub>3</sub> +CO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	CaCO <sub>3</sub>
4 (sıcaksu)	Sondaj-2	Ca > Na+K > Mg	HCO <sub>3</sub> +CO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>
5 (sıcaksu)	Sondaj-3	Ca > Na+K > Mg	HCO <sub>3</sub> +CO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>
6 (sıcaksu)	Sondaj-1	Ca > Na+K > Mg	HCO <sub>3</sub> +CO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>

Kimyasal analiz sonuçları ve bu verilerden oluşturulan Schoeller grafiği bölgedeki suların  $\text{CaCO}_3$  tipinde olduğunu göstermektedir. 1 no.'lu Şıhrıh-1 soğuksu kuyusu tipik  $\text{CaCO}_3$  karakterinde olmasına karşın, özellikle sıcaklarda  $\text{CaCO}_3$ 'ün yanı sıra NaCl değerleri de oldukça yüksektir (Şekil 5). Suların meq/l derişim büyüklüklerine göre katyon-anyon sıralaması: Ca ve  $\text{HCO}_3$ 'den sonra ikinci yüksek katyon değerinin Na, anyon değerinin ise Cl iyonunda olduğunu göstermektedir (Çizelge 1 ve 2). Bu durum,  $\text{CaCO}_3$  tipinde olan soğuksularla karışan sıcakların kökeninin NaCl tipinde bir su olduğunu düşündürmektedir. İleride bahsedilecek olan karışım hesabı sonucu belirlenen ilksek sıcaksu bileşimi bu düşünceyi doğrular niteliktedir. Diğer taraftan, su sıcaklığı ( $29.5^\circ\text{C}$ ) diğer soğuksulara oranla yüksek olan 1 no.'lu Akören-1 kuyu suyunda da sıcaksu katkısı gözlenmektedir. Şekil 6'da verilen Piper diyagramında Akören-1 kuyu suyu sıcaksular ile soğuksular arasında yer almaktadır ve dolayısıyla bu su, sıcak ve soğuksu karışımından oluşmaktadır. Akören-1 kuyu suyunun sıcaklık ( $29.5^\circ\text{C}$ ) ve EC değeri de ( $340 \mu\text{S/cm}$ ), soğuk-sıcaksu sıcaklık ve EC değerleri (sırasıyla

$21 < 29.5 < 49^\circ\text{C}$  ve  $290 < 304 < 929 \mu\text{S/cm}$ ) arasında yer almaktadır ki bu durumda bu suyun bir karışım suyu olduğunu göstermektedir.

Doğunluk indisi (DI) hesaplamaları, sıcakların kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) ve dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) minerallerine doğun, halit mineraline (NaCl) ise doğun olmadığını göstermiştir (Şekil 7). Soğuksular ise bahsedilen minerallerin hiçbirine doğun değildir. Sıcakların kalsit ve dolomit minerallerine doğunluğu beklenen bir durumdur. Bu doğunluğun nedeni, sıcakların beslenim-dolaşım ve rezervuar alanının bu minerali bolca içeren, alanda Fırat Formasyonu olarak adlandırılan, kireçtaşlarının olmasıdır. Yaklaşık aynı beslenim ve rezervuar alanına sahip soğuksular da bu doğunluğun gözlenmemesi iki şekilde açıklanabilir; 1) soğuksuların sıcaklara göre daha sığ dolaşım yapması (Şekil 4) ve akifer kayaç mineraliyle ( $\text{CaCO}_3$ ) dengeye gelecek (veya onu çözerek bünyesine alabilecek) yeterli zamanı bulamaması, 2) soğuksulara karışan sıcakların etkisi ile oluşan ve karışım korozyonu olarak adlandırılan süreçle soğuksuların doğunluk değerlerinin düşmesi ile açıklanabilir.

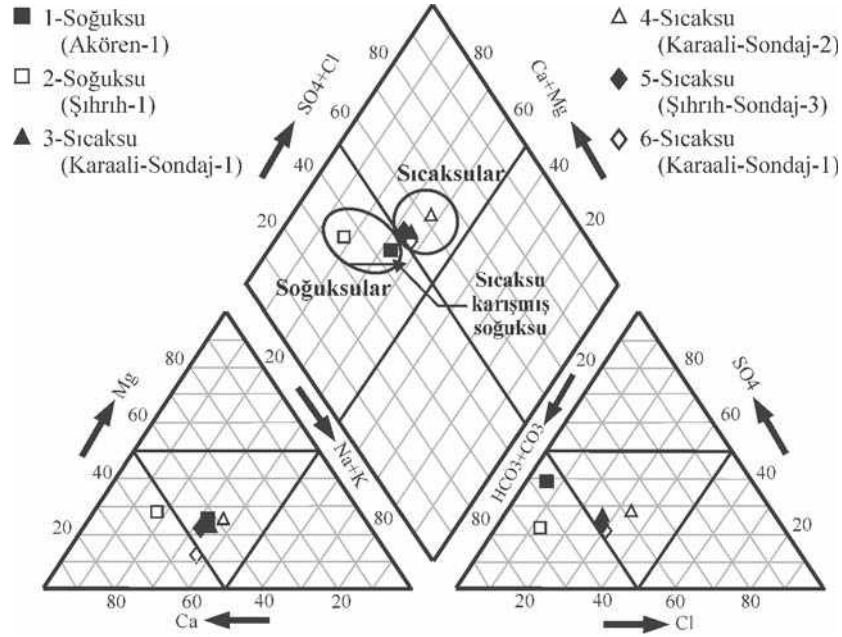


Şekil 5. Su örneklerine ait Schoeller diyagramı.

Figure 5. Schoeller diagram of the water samples.

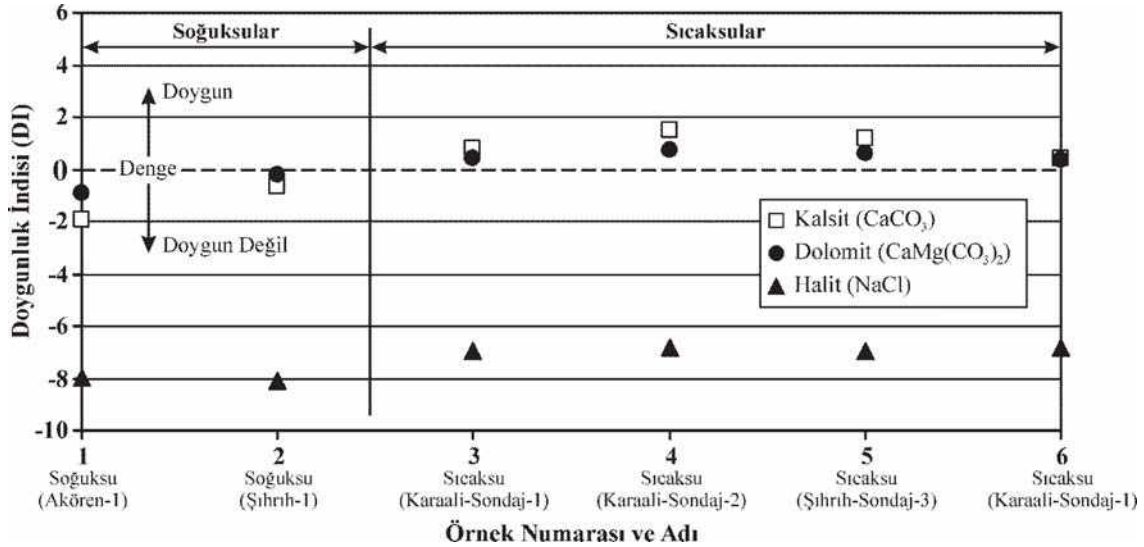
SEKM'nin uygulanmasında Çizelge 1'de sunulan veriler kullanılmıştır. SEKM'nde soğuksu olarak 2 no.'lu Şıhrıh-1 suyu, karışım suyu olarak da 3-4-6 no.'lu sıcaklıkların ortalama değerleri (Çizelge 3) kullanılmıştır. Analiz hatası

içeren (AH=%13.29>%6) 5 no.'lu sıcak su örneği (Şıhrıh-1 sıcak su kuyusu) ile sıcak su karışımına maruz kaldığı düşünülen 1 no.'lu soğuksu örneği (Akören-1 soğuksu kuyusu) dikkate alınmamıştır.



Şekil 6. Su örneklerine ait Piper diyagramı.

Figure 6. Piper diagram of the water samples.



Şekil 7. Su örneklerinin doygunluk indisi (DI) değerleri.

Figure 7. Saturation index (SI) value of the water samples.



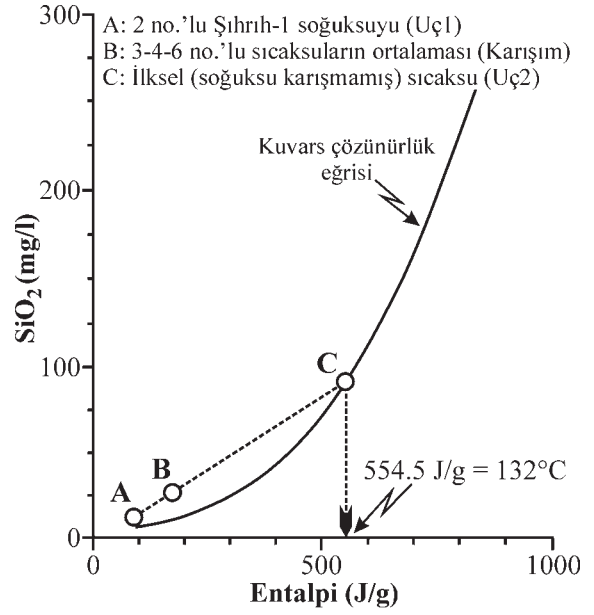
**Çizelge 3.** SEKM ve Cl-entalpi hesaplamalarında kullanılan sıcak ve soğuksuların ortalama iyon içerikleri.

**Table 3.** Average ion content of the hot and cold waters used in SEMM and Cl-enthalpy calculations.

Örnek Tipi >>>	Soğuksu	Sıcaksu Ortalaması
Örnek No. (bk. Çizelge 1) >>>	2	3-4-6
Sıcaklık (°C)	21.0	41.2
pH	7.30	7.60
EC (Ω S/cm)	290	783
Ca (meq/l)	2.50	3.73
Mg (meq/l)	1.32	1.76
Na (meq/l)	0.65	2.82
K (meq/l)	0.06	0.10
HCO <sub>3</sub> (meq/l)	3.00	3.53
CO <sub>2</sub> (meq/l)	0.03	0.19
SO <sub>4</sub> (meq/l)	1.10	2.19
Cl (meq/l)	0.55	2.39
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	12.00	26.67

### SİLİS-ENTALPİ KARIŞIM MODELİ

Karaali sıcaksuyunun TRS'mı belirlemek için Çizelge 3'te verilmiş olan kimyasal verilere silis-entalpi karışım modeli (SEKM) uygulanmıştır. SEKM'nin uygulanmasındaki kriterler (Fournier, 1991) şunlardır; 1) Suyun ölçülen sıcaklığı, Na-K ve SiO<sub>2</sub> jeotermometre eşitliğinden hesaplanan sıcaklıktan 50°C düşük olmalıdır, 2) Silis jeotermometresi ile hesaplanan sıcaklık, Na-K jeotermometresinden hesaplanan sıcaklıktan düşük olmalıdır, 3) Kaynağın debisi, suyun yüzeye yükselirken çok az bir kondüktif soğumaya el verecek oranda yüksek olmalıdır. Bu kriterler, SEKM'nin uygulandığı verilere uymaktadır (Çizelge 1 ve 5). SEKM'nde, sulara ait SiO<sub>2</sub> değerleri ve sıcaklıktan itibaren ilgili tablolardan belirlenen entalpi değerleri kullanılmıştır (Robertson 1985). Uygulamada birinci uç eleman (Uç1) olan Şıhrıh-1 soğuksu kuyusu (Şekil 8, A noktası) ve sıcaksuların ortalama değerlerini ifade eden karışım suyu (Karışım) (Şekil 8, B noktası) silis-entalpi grafiğine işaretlenmiştir.



**Şekil 8.** Silis-entalpi karışım modeli grafiği.

**Figure 8.** Graph of the silica-enthalpy mixing model.

Bu iki noktayı birleştiren AC doğrusunun kuvars çözünürlük eğrisini kestiği noktanın x eksenindeki entalpi değeri ve daha sonra bu entalpi değerinden itibaren de ilgili tablodan sıcaklık değeri belirlenmiştir. Belirlenen bu sıcaklık değeri ikinci uç elemanımız (Uç2, Şekil 8, C noktası) yani soğuksu karışmamış ilksel su sıcaklığını vermektedir. SEKM ile belirlenen entalpi değeri (554.5 J/g) Cl-entalpi grafiğinde (Şekil 9) kullanılarak sıcaksuyunun ilksel Cl derişimi belirlenmiştir. Belirlenen bu değer ile aşağıda verilen ve kütle korunum yasasını temel alan eşitlikle sıcak-soğuk su karışım oranı belirlenmiştir. Cl-entalpi grafiğinden elde edilen sıcaksuyunun ilksel Cl değeri (10.75 meq/l), 2 no.'lu Şıhrıh-1 soğuksuyunun (Cl=0.55 meq/l, bk. Çizelge 1) ve soğuksu karıştığı düşünülen sıcaksuların ortalama Cl değerleri (Cl<sub>ort.</sub>=2.40 meq/l, 3-4-6 no.'lu örneklerin Cl ortalaması, (Çizelge 1) kullanılarak karışım hesabı yapılmıştır.

Bu hesap, soğuksu katkılı sıcaksuyun yaklaşık %82 soğuk ve %18 sıcaksuyun karışması ile oluştuğunu göstermiştir. Belirlenen

$$Cl_{\text{Karışım}} * 100 = Cl_{\text{Soğuksu}} * X + Cl_{\text{Sıcaksu}} * (100-X) \quad (2)$$

$$2.40 * 100 = 0.55 * X + 10.75 * (100-X) \rightarrow X \cong \%82$$

bu yüzde oranları 2 no.'lu Şıhrh-1 soğuksuyu ve 3-4-6- no.'lu ortalama karışım sıcaksu değerlerine (Çizelge 3) uygulanarak katyon jeotermometrelerinde kullanılacak olan sıcaksu ilksel (soğuksu karışmamış) iyon derişimleri hesaplanmıştır (Çizelge 4).

**Çizelge 4.** Karışım hesabı ile belirlenen sıcaksuyun ilksel (soğuksu karışmamış) iyon derişimleri.

**Table 4.** The initial (not mixing with cold water) hot water's ion concentrations determined by mixing calculation.

Karışım Oranı	Sıcaksu %18 – Soğuksu %82
Uç Eleman	İlksel (soğuksu karışmamış) Sıcaksu (Uç2)
Sıcaklık (°C)	133
pH	8.90
EC (µS/cm)	3029
Ca (meq/l)	9.33
Mg (meq/l)	3.75
Na (meq/l)	12.69
K (meq/l)	0.30
HCO <sub>3</sub> (meq/l)	5.97
CO <sub>3</sub> (meq/l)	0.90
SO <sub>4</sub> (meq/l)	7.12
Cl (meq/l)	10.75
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	93.50

## KİMYASAL veya ÇÖZELTİ JEOTERMOMETRE HESAPLAMALARI

Jeotermal suların rezervuar sıcaklığının belirlenmesinde kullanılan en önemli yöntemlerden biri jeotermometrelerdir. Jeotermometre eşitliklerinde termal suyun rezervuar kayaç etkileşimi ile kazandığı kimyasal bileşim kullanılmaktadır. Rezervuar sıcaklığının kaç derece olabileceğini belirlemek, termal suyun ekonomik olarak işletilmesi ve geliştirilmesi açısından oldukça önemlidir. Jeotermometrelerin termal suya uygulanmasında temel varsayım sıcaklığa bağlı su-mineral dengesinin derinlerdeki rezervuar kayaçta sağlanmış olmasıdır (Andresdottir ve Arnorsson, 1995). Birçok çalışma 50-100°C gibi düşük sıcaklıklarda bile birçok ana iyon bileşeni açısından su-mineral dengesinin sağlandığını göstermiştir (Giggenbach, 1980, 1981; Arnorsson vd. 1983). Jeotermometre eşitlikleri kullandıkları kimyasal reaksiyonlar açısından başlıca iki sınıfa ayrılmaktadır: 1) bir mineralin sıcaklığa bağlı çözünürlüğünü temel alan jeotermometreler (silis jeotermometreleri) ve 2) çözünmüş iyonların sıcaklığa bağlı iyon takas (ion exchange) reaksiyonlarına dayanan katyon jeotermometreleridir (Na-K, Na-Ca, Na-K-Ca, K-Mg, Li-Na vb.) (Fournier, 1991). Bu çalışmada da katyon ve silis jeotermometreleri kullanılmıştır.

SEKM ve Cl-entalpi yöntemleriyle belirlenen karışım yüzdelerinin (%18 ve %82) uygulanmasıyla elde edilmiş ve Çizelge 4'te verilmiş olan iyon derişimleri Ek-1'de verilen jeotermometre eşitliklerinde kullanılarak Karaali sıcaksuyunun TRS hesaplanmıştır (Çizelge 5). Karışım yüzdeleriyle saptanan sıcaksuyun ilksel kimyasal derişimlerinin (Çizelge 4) katyon-silis jeotermometre eşitliklerinde kullanılmasıyla

hesaplanan rezervuar sıcaklıkları Şanlıurfa-Karaali sahasındaki sıcaqsuyun TRS'nin 107-169°C arasında olabileceğini göstermiştir. Ancak unutulmamalıdır ki, Na-K tipi jeotermometre eşitliklerinin kullanılmasında hatalı rezervuar sıcaklığı hesabından kaçınmak için olgunluk

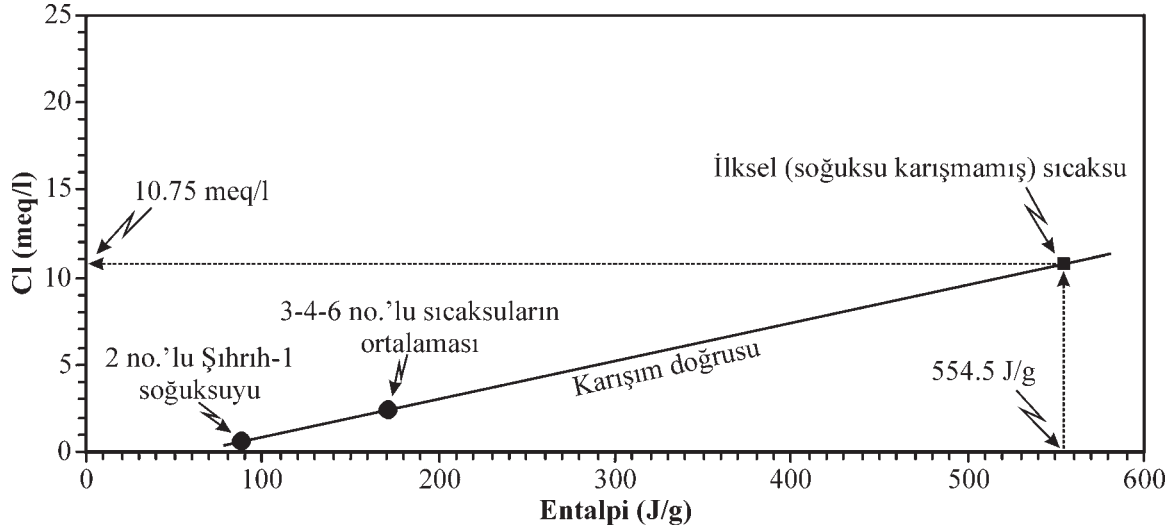
indeksi (oi)'nin 2'den büyük olması istenmektedir. Yukarıda yapılan hesaplamalar karışımdan itibaren yapıldığı için eldeki oi değerleri 2'den küçüktür (Çizelge 5). Bu yüzden Na-K jeotermometreleri ile hesaplanan TRS değerlerine ihtiyatla bakmak gereklidir.

**Çizelge 5.** Jeotermometre eşitlikleri ile hesaplanan tahmini rezervuar sıcaklıkları.

**Table 5.** Estimated reservoir temperatures calculated by geothermometer equations.

Karışım Oranı	Sıcaksu %18 – Soğuksu %82
Uç Elaman	İlksel (soğuksu karışmamış) Sıcaksu (Uç2)
Majör Katyon-Anyon Sıralaması	Na>Ca>Mg>K - Cl>SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >CO <sub>3</sub>
Su Tipi	NaCl
Olgunluk İndeksi (Oİ) <sup>(1)</sup>	1.55
Tahmini Rezervuar Sıcaklıkları (TRS) <sup>(2)</sup>	
T1 (°C)	107
T2 (°C)	133
T3 (°C)	117
T4 (°C)	153
T5 (°C)	150
T6 (°C)	138
T7 (°C)	169
T8 (°C)	133
T9 (°C)	133
T10 (°C)	129
En Az (T1-T7)	107
En Çok (T1-T7)	169
Ortalama (T1-T7)	138
En Az (T8-T10)	129
En Çok (T8-T10)	133
Ortalama (T8-T10)	132

Açıklamalar: (1)  $Oİ=0.315 \cdot \log(K^2/Mg) \log(K/Na)$ , iyon derişimleri mg/l'dir. Oİ 2'den küçük ise termal su rezervuar kayaç ile kimyasal açıdan dengede değildir ve bu tip sulara Na-K jeotermometresinin uygulanması hatalı sonuçlar verebilmektedir, (2) T1-T7 no.'lu TRS Na-K jeotermometre eşitlikleriyle, T8-T10 no.'lu TRS Kuvars (SiO<sub>2</sub>) jeotermometre eşitlikleriyle hesaplanmıştır (bk. Ek-1).



Şekil 9. Cl-entalpi grafiği.

Figure 9. Graph of the Cl-enthalpy.

SEKM ile TRS 132°C olarak belirlenmiştir. Bu değer Na-K ve SiO<sub>2</sub> jeotermometre sonuçlarının ortalamasının (sırasıyla, (T1-T7) 138°C ve (T8-T10) 132°C, (Çizelge 5) ortalamalarıyla ( $[138^{\circ}\text{C}+132^{\circ}\text{C}]/2=135^{\circ}\text{C}$ ) oldukça uyumludur.

#### SONUÇLAR, TARTIŞMA ve ÖNERİLER

İnceleme alanında aynı akiferden suyunu alan sıcak ve soğuksu kuyuları yer almaktadır. Özellikle, Karaali Köyü civarında sıcaksu yoğunluğu artmaktadır. Akçakale Grabeni'nin başka hiçbir yerinde bugüne kadar sıcaksu oluşumlarına rastlanmamıştır. Sıcaksular, bölgede yaygın olarak soğuksu üretimine kullanılan Fırat Formasyonu'ndaki kireçtaşlarından elde edilmektedir. Dolayısıyla, kuyulardan elde edilen sıcaksuların soğuksularla karışarak sıcaklıklarının azaldığı düşünülmektedir. Karaali sıcaksuyna soğuksu katkısının belirlenmesi amacıyla yapılan bu incelemede, alandaki suların kimyasal verileri kullanılarak silis-entalpi karışım modeli (SEKM) uygulanmıştır. SEKM ve Cl-entalpi

değerlendirmeleriyle belirlenen karışım yüzdeleriyle karışım hesabı yapılarak, sıcaksuyun ilksel (soğuksu karışmamış) iyon içeriği hesaplanmıştır. Bu iyon içeriğine jeotermometre eşitlikleri uygulanarak Karaali sıcaksuunun tahmini rezervuar sıcaklığı (TRS) hesaplanmıştır. Sıcaksu için katyon jeotermometreleri ile hesaplanan TRS sonuçlarına, bu suya ait olgunluk indeksi (OI)'nin 2'den küçük (1.55) olması nedeniyle şüpheye bakmak gerekmektedir. Bu nedenle, katyon jeotermometrelerine oranla nispeten daha güvenilir sonuçlar veren SEKM'yle de sıcaksuunun TRS belirlenmiş ve katyon jeotermometresi ile bulunan rezervuar sıcaklıkları ile karşılaştırılmıştır. SEKM'yle hesaplanan TRS (132°C) değerinin, %18 sıcaksu ve %82 soğuksu karışım sonucuna uygulanan Na-K ve SiO<sub>2</sub> jeotermometre sonuçlarının ortalamalarıyla (135°C) uyumlu olduğu belirlenmiştir. Bu durum Karaali sıcaksuunun sırasıyla %18 sıcak ve %82 soğuksu karışımından oluşabileceğini ortaya koymaktadır.

Bu incelemenin sonucu, Karaali Köyü civarında daha yüksek sıcaklıklı bir su elde edebileceğini düşündürmektedir. Karışım hesabı, jeotermometre ve SEKM'yle desteklenen bu düşüncenin diğer araştırmalarla da desteklenmesi gerekmektedir. Bunun için Karaali Köyü civarında daha ayrıntılı jeolojik haritalama çalışmaları gerçekleştirilmelidir. Haritalama çalışmasını takiben sıcak su sistemini oluşturan örtü kaya, rezervuar kaya, ısı kaynağı (magmatik sokulum, jeotermal gradyan), fay hatları vb. gibi parametreler jeofizik çalışmalarla ortaya konmalıdır. Alanda yer alan sıcak ve soğuk su kuyularından kimyasal amaçlı su örneklemesinin yanı sıra, suyun kökenini ve yaşını belirlemeye yönelik izotop analizlerinin de yapılmasının yararlı olacağı düşünülmektedir. Bütün bu çalışmaların ardından üretim kuyusu açmadan önce, bir araştırma kuyusuyla en üstte yer alan Pliyosen yaşlı çökeller ve altındaki kireçtaşları kapalı borularla geçilerek, kireçtaşının altındaki marmların içinde olduğu düşünülen fay hattı yakalanarak buradan soğuksu karışmamış sıcak su yüzeye ulaştırılmalıdır.

#### EXTENDED SUMMARY

Karaali hot water is located 32 km south-eastern of Şanlıurfa Province, in Karaali Village at the eastern part of Yardımcı County. In the field, hot water has been encountered during the drilling studies to get cold water. After that, 3 drilling wells having the depth of 138-198 m for the hot water have been carried out by the private enterprise. The discharge and temperature of hot waters obtained from these wells are 20-36 l/sec and 41.5-49.0°C, respectively. Drilling logs have shown that the hot water has been obtained from limestone used extensively for production of cold water. Hot waters in the field are nearby of the fault lines. It has been considered that ascending hot water throughout these fault lines is spreading into limestone aquifer by mixing with cold water,

and because of this process temperature of hot water is declined. Cold waters from wells drilled by DSİ (State Hydraulic Works) in this aquifer have the temperature of 19-2 ° C. Determination of the temperature of Karaali hot water before mixing has been purposed by this investigation.

In the scope of that, initial (before mixing with cold water) chemical composition of Karaali hot water has been tried to determine by using of the chemical analyses results of the cold and hot waters in the region. Firstly, besides of estimated reservoir temperature (ERT) of the hot water, 18% hot and 82% hot water mixing ratio has been established by using of silica-enthalpy mixing model (SEMM) and Cl-enthalpy graph. Initial (not mixing with cold water) chemical composition of hot water has been determined using of these ratio in mixing calculation. This initial chemical composition used in geothermometer equations and ERT has been calculated. Afterwards, TRS' results determined by SEMM and geothermometer have been interpreted.

Fırat Formation, aged Upper Eocene and Lower Miocene and composed of limestone with fractured-jointed and solution channels, outcrops at the eastern part of Karaali Village and this formation constitutes the reservoir rocks of hot water.

While heated waters in deep ascend throughout fault lines, hot waters spread into limestones which contain cold water. Hot waters are run into wells at the eastern part of Karaali Village, on contrary of this, cold waters at the western part (Uzel and Kalkan, 1992). It is considered that this situation is related to the hot water flow increased at graben boundary because of the fault line at the eastern part, or magmatic intrusion formed by the expansion of the eastern fault (Uzel and Kalkan, 1992). Although magmatic activity is not observed nearby vicinity, products of Karacadağ Volcanism outcrop around



the Şanlıurfa-Mardin highway.

Chemical analyses of the waters (Table 1) have indicated that the type of the cold and hot waters are  $\text{CaCO}_3$ . Despite cold waters show typical  $\text{CaCO}_3$  character, especially NaCl is also high in hot waters besides of  $\text{CaCO}_3$ . The cation-anion orders show that the Na and Cl are the second high constituents after Ca and  $\text{HCO}_3$  (Refer to Table 1). It is considered that the origin of the hot water mixing with cold water may be NaCl type water.

The silica-enthalpy mixing model (SEMM), which is more reliable than cation geothermometers, has been applied to cold and hot waters in order to calculate TRS.  $\text{SiO}_2$  concentrations of waters and enthalpy values (*which are determined by using of temperature of waters in relating tables in Robertson (1985)*) have been used in SEMM. TRS has been calculated by SEMM as  $132^\circ\text{C}$  (Figure 2). This ERT value ( $132^\circ\text{C}$ ) is quite harmonious with the average of the Na-K and  $\text{SiO}_2$  geothermometers' results ( $138^\circ\text{C}$  and  $132^\circ\text{C}$ , respectively;  $[(138^\circ\text{C}+132^\circ\text{C})/2=135^\circ\text{C}]$ ) which were applied to 18% hot and 82% cold water mixing. This situation supports that the Karaali hot water is composed of the mixing of the 18% initial hot water and 82% cold water.

Results of this study have showed that hotter water can be obtained in the vicinity of Karaali Village. This idea, inspected by mixing calculation, geothermometers and SEMM, has to be supported by the other investigations. For this, detail mapping studies must be realized around the Karaali Village. After mapping studies, cap rock, reservoir rock, heat source (magmatic intrusions, geothermal gradient), fault lines and etc. parameters forming the hot water system must be verified by the geophysical investigations. After the all these studies, an investigation well has to be drilled before production well. The upper units (Pliocene units)

and limestones have to be passed with casing to detect fault zone and to determine the hot water which is not mixing with cold water.

Key words: geothermometer, hot water, Karaali, mixing, Şanlıurfa.

#### KATKI BELİRTME

Yazarlar, makaleye yapıcı eleştirileri ile katkı sağlayan hakemler Prof.Dr. Şakir ŞİMŞEK ve Dr. Ali KOÇAK'a teşekkür ederler.

#### DEĞİNİLEN BELGELER

- Andresdottir, A. ve Arnorsson, S., 1995. Studies of the chemical evolution of natural waters in the Hrepper-Land Geothermal Field, Iceland: An aid to geothermometry interpretation. Proceedings of The World Geothermal Congress, 18-31 May 1995, International Geothermal Association (IGA), Vol. 2, Florence, Italy, 1001-1006.
- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) ve WPCF (Water Pollution Control Federation), 1989. Standard Methods for The Analysis of Water and Waste Water. APHA publication, 17th Edition, Washington DC, 1133 s.
- Arnorsson, S., 1983. Chemical equilibria in Icelandic geothermal systems, implications for chemical geothermal investigations. *Geothermics*, 12, 119-128.
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E. ve Svavarsson, H., 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland, II. Mineral equilibria and independent variables controlling water composition. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 47, 547-566.
- DSİ, 1972. Harran Ovası hidrojeolojik etüt raporu, DSİ Yayını, 49 s.

- Erişen, B., Akkuş, İ., Uygur, N. ve Koçak, A., 1996. Türkiye Jeotermal Envanteri. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 480 s.
- Fournier, R.O. ve Potter, R.W., 1982. A revised and expanded silica (quartz) geothermometer. Geoth.Res.Council Bull., 11-10, 3-12.
- Fournier, R.O., 1973. Silica in thermal waters: laboratory and field investigations. Proceedings of the International Symposium on Hydrogeochemistry and Biochemistry, Tokyo, Vol.1, Clark Co., Washington D.C., 122-139.
- Fournier, R.O., 1979. A revised equation for the Na/K geothermometer. Geoth.Res.Council, Transactions, 3, 221-224.
- Fournier, R.O., 1991. Water Geothermometers Applied to Geothermal Energy. In: Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development. Rome, F.D'amore (Co-Ordinator), UNITAR/UNDP Publications, 37-69.
- Giggenbach, W.F., 1980. Geothermal gas equilibria. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 44, 2021-2032.
- Giggenbach, W.F., 1981. Geothermal mineral equilibria. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 45, 393-410.
- Giggenbach, W.F., Gonfiantini, R., Jangi, B.L. ve Truesdell, A.H., 1983. Isotopic and chemical composition of Parbatia Valley geothermal discharges. NWHimalaya, India, Geothermics, 12, 199-222.
- Kalkan, İ. ve Uzel, Ö.F., 1993. Şanlıurfa-Yardımcı-Karaali sıcaksu sondajı kuyu bitirme raporu. MTA Derleme No: 9554, 8 s.
- Nieva, D. ve Nieva, R., 1987. Developments in geothermal energy in Mexico, Part 12-A cationic composition geothermometer for prospection of geothermal resources. Heat Recovery Systems And Chp, 7, 243-258.
- Robertson, J.M. (Editor), 1985. Fluid-Mineral Equilibria in Hydrothermal Systems. Society of Economic Geologist, Reviews in Economic Geology, Vol. 1, 267 p., USA.
- Tonani, F., 1980. Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration. Proceedings, Adv. Eur. Geoth. Res., 2nd Symp., Strasbourg, 428-443.
- Truesdell, A.H. ve Fournier, R.O., 1976. Calculations of deep temperatures in geothermal systems from the chemistry of boiling spring waters of mixed origin. Proceedings of 2nd United Nations Symposium on The Development and Use of Geothermal Resources, 1, 837-844.
- Tümer, T., 1987. Akçakale Grabeni'nin yapısal stratigrafik özellikleri ve petrol potansiyeli, Türkiye 7. Petrol Kongresi, Ankara.
- Uzel, Ö.F. ve Kalkan, İ., 1992. Şanlıurfa-Yardımcı-Karaali kaplıcası hidrojeoloji etüdü, MTA Derleme No: 9419, 8 s.

**Ek 1.** Rezervuar sıcaklığı tahmininde kullanılan jeotermometre eşitlikleri.  
**Appendix 1.** Geothermometer equations used for estimation of the reservoir temperature.

Jeotermometre Numarası ve Eşitliği	Uygulama Aralığı	Referans
<u>&lt;&lt;&lt; KATYON JEOTERMOMETRELERİ &gt;&gt;&gt;</u>		
• Na-K jeotermometreleri:		
T1 $t^{\circ}\text{C} = 856/[0.857+\log(\text{Na}/\text{K})]-273.15$	>150°C	(1)
T2 $t^{\circ}\text{C} = 883/[0.780+\log(\text{Na}/\text{K})]-273.15$		(2)
T3 $t^{\circ}\text{C} = 933/[0.993+\log(\text{Na}/\text{K})]-273.15$	25-250°C	(3)
T4 $t^{\circ}\text{C} = 1319/[1.699+\log(\text{Na}/\text{K})]-273.15$	250-350°C	(3)
T5 $t^{\circ}\text{C} = 1217/[1.483+\log(\text{Na}/\text{K})]-273.15$	>150°C	(4)
T6 $t^{\circ}\text{C} = 1178/[1.471+\log(\text{Na}/\text{K})]-273.15$		(5)
T7 $t^{\circ}\text{C} = 1390/[1.750+\log(\text{Na}/\text{K})]-273.15$		(6)
<u>&lt;&lt;&lt; SİLİS JEOTERMOMETRELERİ &gt;&gt;&gt;</u>		
• Kuvars jeotermometreleri:		
T8 <sup>a</sup> $t^{\circ}\text{C} = C_1 + C_2S + C_3S^2 + C_4S^3 + C_5\log S$	0-350°C	(7)
T9 $t^{\circ}\text{C} = 1309/[5.19-\log\text{SiO}_2]-273.15$	0-250°C (buhar kaybı yok)	(8)
T10 $t^{\circ}\text{C} = 1522/[5.75-\log\text{SiO}_2]-273.15$	100-250°C (en çok buhar kaybı)	(8)
Açıklamalar: Eşitliklerde yer alan iyon derişimleri mg/l'dir. (a) $C_1=-4.2198*10^1$ , $C_2=2.8831*10^{-1}$ , $C_3=-3.6686*10^{-4}$ , $C_4=3.1665*10^{-7}$ , $C_5=7.7034*10^1$ , (S=SiO <sub>2</sub> derişimi); (1) Truesdell ve Fournier (1976); (2) Tonani (1980); (3) Arnorsson (1983); (4) Fournier (1979); (5) Nieva ve Nieva (1987); (6) Giggenbach vd. (1983); (7) Fournier ve Potter (1982); (8) Fournier (1973).		