

Groundwater Chemistry of the Lenjanat District, Esfahan Province

**Miranzadeh, M. (M.Sc.) *Mamanpush, A.R. (M.Sc.) , Agric. Research Center
Esfahan , Iran*

***Gieske, A. (Ph.D) International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences
(ITC) Netherlands.*

Abstract

A hydrochemical analysis was made the groundwater and surface water in the Lenjanat district, which lies between Esfahan and Chadegan Dam along the Zayandeh Rud. The analysis is based on two data sets, both kindly made available by the ministry of energy (Esfahan Regional Water Organization). The first one consists of chemistry data for over 750 samples from wells, qanats and springs in the area. Collected from 1986-1997. The second comprises 328 analysis of Zayandeh Rud River water collected at six station along the river during the period 1991-1998.

The evaluation of the hydrochemical facies is described through the use of piper and stiff diagrams. While source rock deductions are made by means of the program WATEVAL. (Hounslo, 1995). Spatial distribution of the EC values in the district is determined through application of Kriging methods and examples are given for temporal changes in EC at a few representative locations.

It is shown that the groundwater is of a limestone origin. However, because of frequent contacts with gypsum deposits, gypsum dissolution is strongly affecting the groundwater chemistry of most samples.

Furthermore the analysis reveals that there is a natural groundwater flow from northward which seeps into the Zayandeh Rud eventually. The irrigation return flow component is added to this. Although both flow components are small, they carry a significantly higher solute load than the Zayandeh Rud in this stretch of the river. Thus causes the change in the chemical composition of the river as it flows through the Lenjanat District.

Finally it would appear that so-called mixing cell methods may be used to quantify natural groundwater seepage and irrigation return flow components, provided information is available with respect to their chemical composition. Groundwater flow and mass transport modelling would be of practical importance in the study of surface water-groundwater interaction along the Zayandeh Rud.

شیمی آب‌های زیرزمینی و سطحی منطقه لنجان‌ات در

استان اصفهان

(دریافت ۸۱/۲/۱۳ پذیرش ۸۱/۱۰/۱۰)

مختار میران‌زاده* علیرضا مأمّن‌پوش** آمبروخیسک***

چکیده

در این پژوهش آب زیرزمینی و آب سطحی منطقه لنجان‌ات مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت. این منطقه بین اصفهان و سد زاینده‌رود و در امتداد رودخانه زاینده‌رود قرار دارد. آنالیز براساس دوسری داده که توسط سازمان آب منطقه‌ای اصفهان فراهم شده است، قرار دارد. نخستین سری داده شامل بیش از ۷۵۰ نتیجه تجزیه شیمیایی نمونه‌های آب چاه‌ها، قنات و چشمه‌های موجود در منطقه بوده که از آمار سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۶ جمع‌آوری شده است. دومین سری شامل نتایج تجزیه شیمیایی ۳۲۸ نمونه آب از رودخانه زاینده‌رود است که از شش ایستگاه هیدرومتری در امتداد رودخانه در طول سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۶ جمع‌آوری گردیده است.

ارزیابی جنبه‌های هیدروشیمیایی به صورت دیاگرام‌های استیف^۱ و پایپر^۲ توصیف شده‌اند، ضمن آن که تشخیص سنگ مادری با برنامه WATEVAL انجام شده است. توزیع مکانی هدایت الکتریکی (EC) کاربردی کریجینگ^۳ تعیین شده و مثال‌هایی از تغییرات زمانی EC در چند محل معرف به دست آمده است. این ارزیابی نشان داد که منشأ ترکیبات آب زیرزمینی سنگ آهک است ولی به علت تماس مکرر با رسوبات گچی، گچ حل شده روی شیمی آب اغلب نمونه‌ها تأثیر زیادی دارد. به علاوه تجزیه‌ها نشان می‌دهد که یک جریان طبیعی آب زیرزمینی رو به شمال وجود دارد که این جریان سرانجام داخل زاینده‌رود نشت کرده و مقداری آب برگشتی آبیاری نیز به آن اضافه می‌شود. اگرچه مقادیر این دو جریان اندک است ولی به میزان قابل ملاحظه‌ای در این قسمت بار محلول زاینده‌رود را افزایش داده و در منطقه لنجان‌ات باعث تغییر ترکیب شیمیایی آب می‌شود.

پیشنهاد می‌شود روشی که به عنوان سلول مخلوط نامیده می‌شود برای به کمیت درآوردن جریان طبیعی آب زیرزمینی و جریان برگشتی آبیاری و ترکیبات شیمیایی آن‌ها مورد استفاده قرار گیرد. مدل کردن جریان آب زیرزمینی و انتقال جرم، کاربرد مهمی در مطالعه تأثیر متقابل آب زیرزمینی و آب سطحی دارد.

کلمات کلیدی: آب‌های زیرزمینی، هیدروشیمی، آبیاری، لنجان‌ات، مدل Wateval

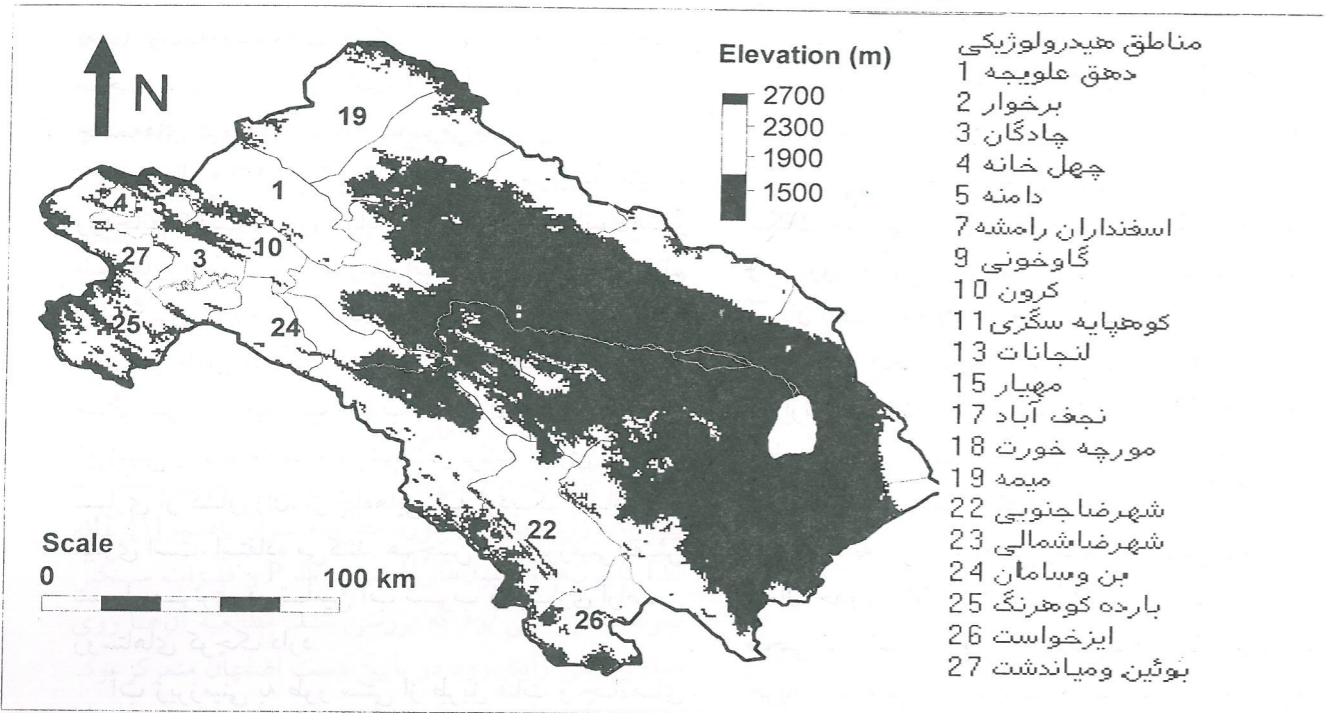
مقدمه

اراضی کشاورزی این ناحیه به طور سنتی عمدتاً با آب رودخانه و هم‌چنین با آب زیرزمینی که به وسیله قنات و چاه استخراج شده، آبیاری می‌شود. در سال‌های اخیر با رشد جمعیت و توسعه صنایع، تقاضای آب افزایش یافته و هم‌اکنون کیفیت و کمیت منابع آب شیرین مورد تهدید است [۹].

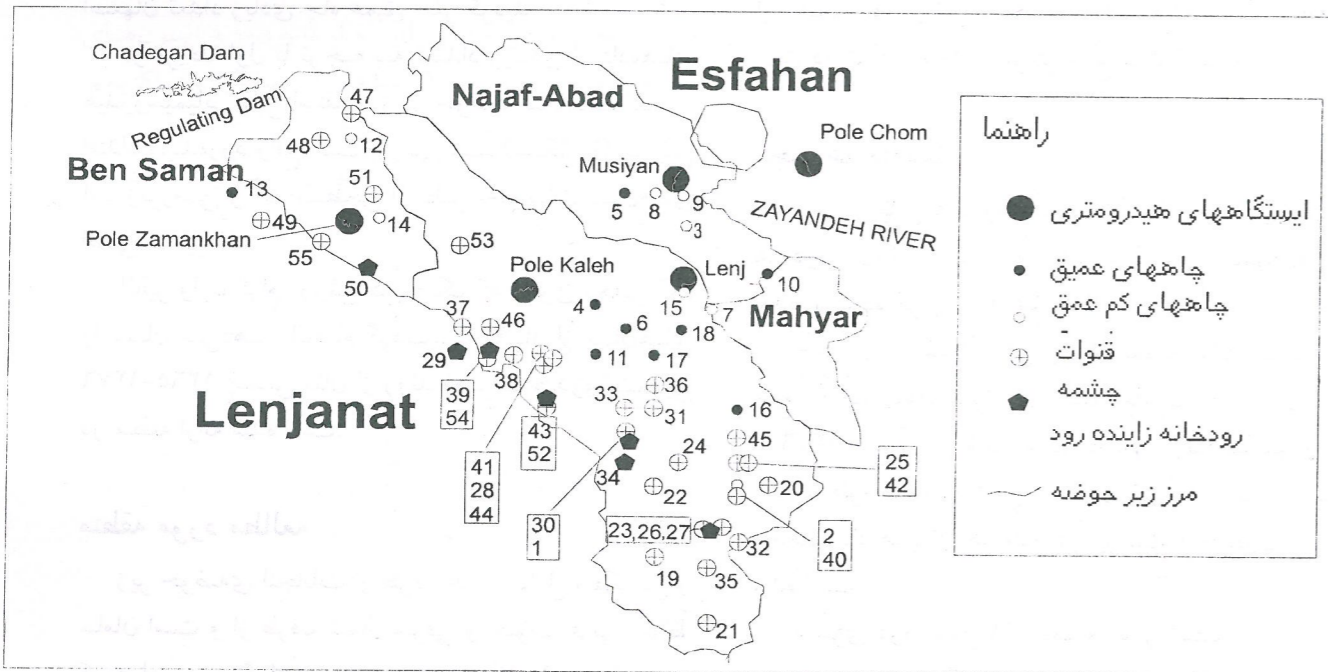
در سال ۱۳۴۹، به منظور تنظیم جریان رودخانه زاینده‌رود، سد زاینده‌رود (شکل‌های ۱ و ۲) با خروجی متوسط ۱۵۰۰ میلیون مترمکعب در سال ساخته شد [۱۰]. باید توجه داشت که ۵۵۰ میلیون مترمکعب از این مقدار از حوضه مجاور منتقل می‌شود. دو تونل که قبلاً

استان اصفهان از لحاظ تقسیمات هیدرولوژیک در مرکز ایران واقع است و به صورت یک حوضه آبریز بسته است. این استان دارای یک رودخانه دائمی به نام زاینده‌رود است که از رشته کوه‌های زاگرس سرچشمه گرفته و تا ۳۵۰ کیلومتر در پایین‌دست به باتلاق گاوخونی، که یک پهنه شوره‌زار است، ختم می‌شود (شکل ۱).

زاینده‌رود، قرن‌ها موجب رونق و پیشرفت اقتصادی اصفهان بوده است. در حال حاضر این شهر با بیش از دو میلیون نفر جمعیت یکی از مهم‌ترین شهرهای ایران است.



شکل ۱- مناطق هیدرولوژیک در حوضه آبریز زاینده‌رود. ارتفاعات نشان داده شده در شبکه‌های (۱×۱) کیلومتر مربع که از مدل رقومی جهانی به دست آمده است.



شکل ۲- موقعیت منابع معرف (چاه‌ها، قنات، چشمه‌ها) و نقاط نمونه‌برداری آب از زاینده‌رود در زیر حوضه‌های لنجان‌ات، بن، سامان و نجف‌آباد که در شبکه‌های (۵×۵) کیلومتر مربع قرار دارند.

* محقق بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان
 ** پژوهنده بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان
 *** عضو گروه کاری ITC - IWMI هلند

1- Stiff
 2- Piper
 3- Kriging

ساخته شده، آب را از رودخانه کوه‌رنگ (حوضه مجاور) به سد زاینده‌رود هدایت می‌کند. سومین تونل، در حال ساخت است. به طور کلی همه آب، از ذوب برف و چشمه‌های کوه‌های زاگرس نشأت می‌گیرد.

از سال ۱۳۷۰، در ۶ ایستگاه هیدرومتری در امتداد رودخانه، کیفیت آب رودخانه از لحاظ غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی توسط سازمان آب منطقه‌ای به طور منظم اندازه‌گیری شده است (شکل ۲). آب زیرزمینی نقش بسیار مهمی در تأمین مصرف اضافی آب به عهده دارد. برای مثال، برای تأمین آب شرب اصفهان در تابستان، آب زیرزمینی به شبکه اضافه می‌شود. در برنامه آبیاری اراضی، بسیاری از کشاورزان، از چاه‌هایی که نزدیک کانال‌های آبیاری است، استفاده می‌کنند. هم‌چنین آب زیرزمینی نقش بسیار موثری در تأمین آب شرب و آبیاری اراضی روستاهای کوچک دارد.

آب زیرزمینی به طور سنتی از طریق قنات و چاه‌های دستی برداشت می‌شود. به منظور کنترل و تحت نظر داشتن سطح آب زیرزمینی و کیفیت آن در سال ۱۳۵۹ در استان اصفهان تعداد زیادی چاه عمیق حفر گردید.

در مرحله اول با توجه به تعداد زیادی از داده‌های هیدروشیمیایی قابل استفاده، زیر حوضه لنجان‌ات که در امتداد زاینده‌رود واقع است بررسی شد (شکل ۲). سپس آب زیرزمینی و آب سطحی از نظر محتویات یون‌های اصلی تفسیر شد.

آنالیز واریوگرام^۱ روش کربجینگ که الگوی مکانی EC را نشان می‌دهد، انجام گردید. در پایان از سال‌های ۱۳۷۶-۱۳۶۵ چندین مثال از روند تغییرات هیدروشیمیایی در منطقه ارائه شده است.

منطقه مورد مطالعه

زیر حوضه لنجان‌ات از طرف غرب شامل منطقه بن و سامان است و از طرف شمال شرقی و جنوب غربی توسط کوه‌هایی در بر گرفته شده است (شکل ۱). در قسمت جنوبی، رشته کوه زردکوه بختیاری است که در غرب منطقه بن و سامان قرار دارد که در نهایت به رشته کوه زاگرس محدود می‌شود. هم‌چنین رشته کوه‌های دیگری نیز

^۱ Variogram

زیر حوضه لنجان‌ات را از منطقه نجف‌آباد و مهیار جدا می‌کند.

در میان رشته کوه‌ها، دو شکاف وجود دارد که شکاف ورودی به منطقه لنجان‌ات در غرب و در بین رشته کوه‌های زاگرس است که سد زاینده‌رود در آنجا احداث شده، و شکاف خروجی در پهنه وسیع بین کوه‌ها واقع شده که زاینده‌رود از آنجا به طرف شمال و به سمت اصفهان در جریان است. به منظور تغذیه کانال‌های اصلی آبیاری نکوآباد، در آنجا یک سد انحرافی ساخته شده است.

ارتفاعات دشت لنجان‌ات، حدود ۱۶۰۰ تا ۲۰۰۰ متر از سطح دریاست. ارتفاع در کوهستان ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ متر بیشتر از مناطق دشتی است. ارتفاع زاینده‌رود در نزدیکی سد زاینده‌رود به ۲۰۰۰ متر می‌رسد در حالی که خروجی شمال حدود ۱۶۵۰ متر است [۹]. از آنجا که که خطوط منحنی تراز آب زیرزمینی از توپوگرافی پیروی می‌کند، جریان زیرزمینی به سمت شمال است و ساختار آبخوان مناسب موجود را فراهم می‌کند. چاه‌ها، قنات و چشمه‌هایی که در شکل ۲ نشان داده شده‌اند، نمونه‌هایی از این آبخوان‌ها در این ناحیه هستند که معمولاً مختصات آن‌ها در شبکه (۵×۵) کیلومتر مربع ثبت شده است.

مجموعه داده‌ها

برای ارزیابی هیدروشیمیایی منطقه از دو سری داده که هر دوی آن‌ها توسط سازمان آب منطقه‌ای اصفهان فراهم شده، استفاده گردیده که عبارت‌اند از:

- سری اول شامل بیش از ۷۵۰ نمونه آنالیز شده از ۵۵ منبع معرف چاه‌ها، قنات و چشمه‌هاست که از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۶ جمع‌آوری شده است. تعداد نمونه‌ها برای هر منبع به طور میانگین ۱۴ و دامنه آن ۲ تا ۲۱ نمونه است. میانگین داده‌ها برای هر منبع در پیوست ۱ جدول ۱ آورده شده است.

- سری دوم شامل ۳۲۸ نمونه آنالیز شده از ۶ ایستگاه هیدرومتری است، که از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۷ جمع‌آوری گردید. این ایستگاه‌ها عبارت‌اند از: پل زمان‌خان، پل کله، لنج، موسیان، پل چوم و ورزنه. در شکل ۲ موقعیت این ۶ ایستگاه نشان داده شده است.

آنالیز نمونه‌های آب زیرزمینی و آب سطحی شامل pH، EC، Cl⁻، CO₃⁻، HCO₃⁻، SO₄²⁻، Ca²⁺، Mg²⁺، K⁺ و Na⁺ SAR است.

کنترل داده‌های کیفیت

نمونه‌ها از چهار طریق بررسی می‌شوند [۶]:

۱- مقادیر EC/100 بر حسب (μS/cm) در مقابل جمع آنیون‌ها بر حسب (meq/l) رسم می‌شود. برای محلول با غلظت کم نتیجه ترسیم باید یک خط راست باشد.

۲- مقادیر EC/100 بر حسب (μS/cm) در مقابل جمع کاتیون‌ها بر حسب (meq/l) رسم می‌شود. باید نتیجه ترسیم یک خط راست باشد.

۳- جمع آنیون‌ها باید برابر جمع کاتیون‌ها باشد. درصد خطا معمولاً به صورت زیر بیان می‌شود:

[(جمع آنیون‌ها+جمع کاتیون‌ها)/(جمع آنیون‌ها-جمع کاتیون‌ها)] × ۱۰۰

۴- مشاهده وقوع سری‌های زمانی واریسی داده‌های پرت را امکان‌پذیر می‌سازد.

با استفاده از این چهار روش، داده‌ها به دقت آزمایش شدند و خطاهای آشکار، تصحیح و داده‌های پرت از مجموعه حذف شد. شکل ۳ دیاگرام پراکنشی نتایج داده‌های آب زیرزمینی که در آن جمع آنیون‌ها در مقابل جمع کاتیون‌ها رسم شدند را، نشان می‌دهد. خطای میانگین، خطای مینیمم، خطای ماکزیمم و انحراف معیار به ترتیب ۰/۹۵٪، ۰/۱۵٪ و ۲/۱ است.

برای داده‌های آب سطحی خطای میانگین، خطای مینیمم و خطای ماکزیمم به ترتیب برابر ۰/۷۸٪، ۰/۰٪ و ۰/۹٪ است.

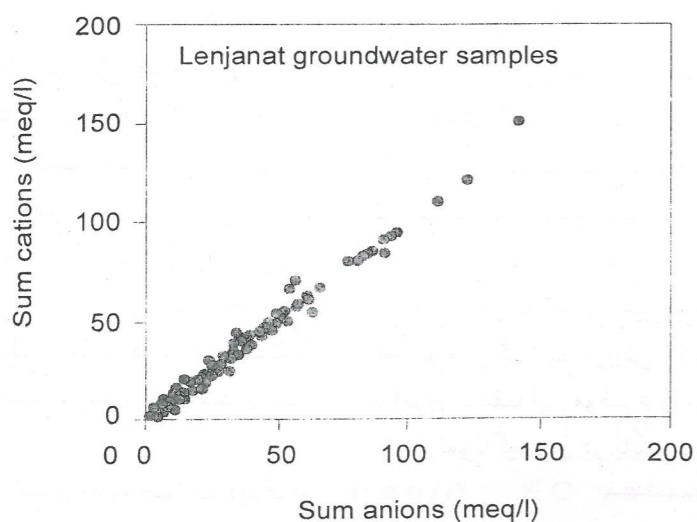
جنبه‌های هیدروشیمیایی

چون رودخانه زاینده‌رود از منطقه لنجان‌ات عبور می‌کند در ابتدا بعضی از جنبه‌های هیدروشیمیایی آب سطحی بحث شده و به دنبال آن نمونه‌های آب زیرزمینی بررسی شده است.

آب سطحی

با استفاده از نمونه‌هایی که از سال ۱۳۶۷ تا ۱۳۷۳ از ۱۵ ایستگاه جمع‌آوری شده بود، نوسانات کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود را مورد مطالعه قرار دادند [۱]. pH، EC کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی، N، P و فلزات سنگین نمونه فاکتورهایی بود که بررسی شد. مطالعه آن‌ها روی هیدروشیمی زاینده‌رود در پایین دست اصفهان متمرکز بود. مجموعه داده‌هایی که در این‌جا استفاده شده از سازمان آب منطقه‌ای اصفهان بوده که از ۱۶ ایستگاه هیدرومتری از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۷ جمع‌آوری شده است.

تجزیه شیمیایی شامل pH، EC، کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی است. پیوست ۱ جدول ۲، میانگین، ماکزیمم، مینیمم و انحراف معیار داده‌های ایستگاه‌های: پل زمان‌خان، پل کله، لنج، موسیان، پل چوم و ورزنه را نشان می‌دهد.



شکل ۳- دیاگرام پراکنش نمونه‌های آب زیرزمینی زیر حوضه لنجان‌ات که در آن جمع آنیون‌ها در مقابل کاتیون‌ها رسم شده است.

جدول ۱- تعیین، تشخیص سنگ مادری با برنامه WATEVAL [۶].

ردیف	پارامتر	میزان انحراف معیار	نتیجه گیری
۱	لانزلیر	متوسط ۰/۱۶ انحراف معیار ۰/۱۴	کمی اشباع در ارتباط با کلیت
۲	هالیت $Na^+/(Na^++C)$	$0/11 = 0/5$ $0/78 = 0/5$ $0/11 = 0/5$	منبع سدیم غیر از نمک طعام تبادل بعضی از یونها گزارشی از نمک طعام در منطقه نشده است
۳	$Mg^{2+}/(Ca^{2+}+Mg^{2+})$	$0/10 < 0/5$	سنگ آهک/دولومیت هوازده
۴	$Ca^{2+}/(Ca^{2+}+SO_4^{2-})$	$0/27 = 0/5$ $0/40 < 0/5$ $0/33 > 0/5$	گچ حذف کلسیم: تبادل یونی / رسوب کلسیت منبع کلسیم غیر از گچ: مثل کربنات
۵	$(Ca^{2+}+Mg^{2+})/SO_4^{2-}$	$0/20 > 0/5$ و $1/2$ $0/80 < 0/8$ و $> 1/2$	فقط دولومیت زدایی منطقه‌ای
۶	HCO_3^-/Sum	عموماً $0/100 < 0/8$	انحلال گچ در بیشتر موارد

جدول ۲- مقادیر جریان و غلظت‌ها برای پنج مولفه در مدل اختلاط (در این مثال از اثرات بارندگی و تبخیر صرف نظر شده است)

اجزای جریان	Q (m ³ /s)	EC (μS/cm)	TDS (g/m ³)
جریان ورودی (I) پل کله	۵۴/۰	۳۶۶	۲۵۶
جریان خروجی (O) نکوآباد	۵۰/۰	۵۷۵	۴۰۳
نشت آب زیرزمینی به رودخانه (S)		۳۰۰۰	۲۱۰۰
برداشت آب به منظور آبیاری و مصرف شهری (G)	۹/۵	۴۷۱	۳۳۰
آب برگشتی (R)		۲۱۲۰	۱۴۸۴

شده است. دیاگرام پایپر به وضوح نشان می‌دهد که ترکیبات اولیه آب از نوع کربنات (Ca^{2+}, HCO_3^-) می‌باشد که انتظار می‌رود در اثر انحلال سنگ‌های آهکی^۱ و دولومیتی که تغذیه آب در آن‌ها زیاد است، باشد.

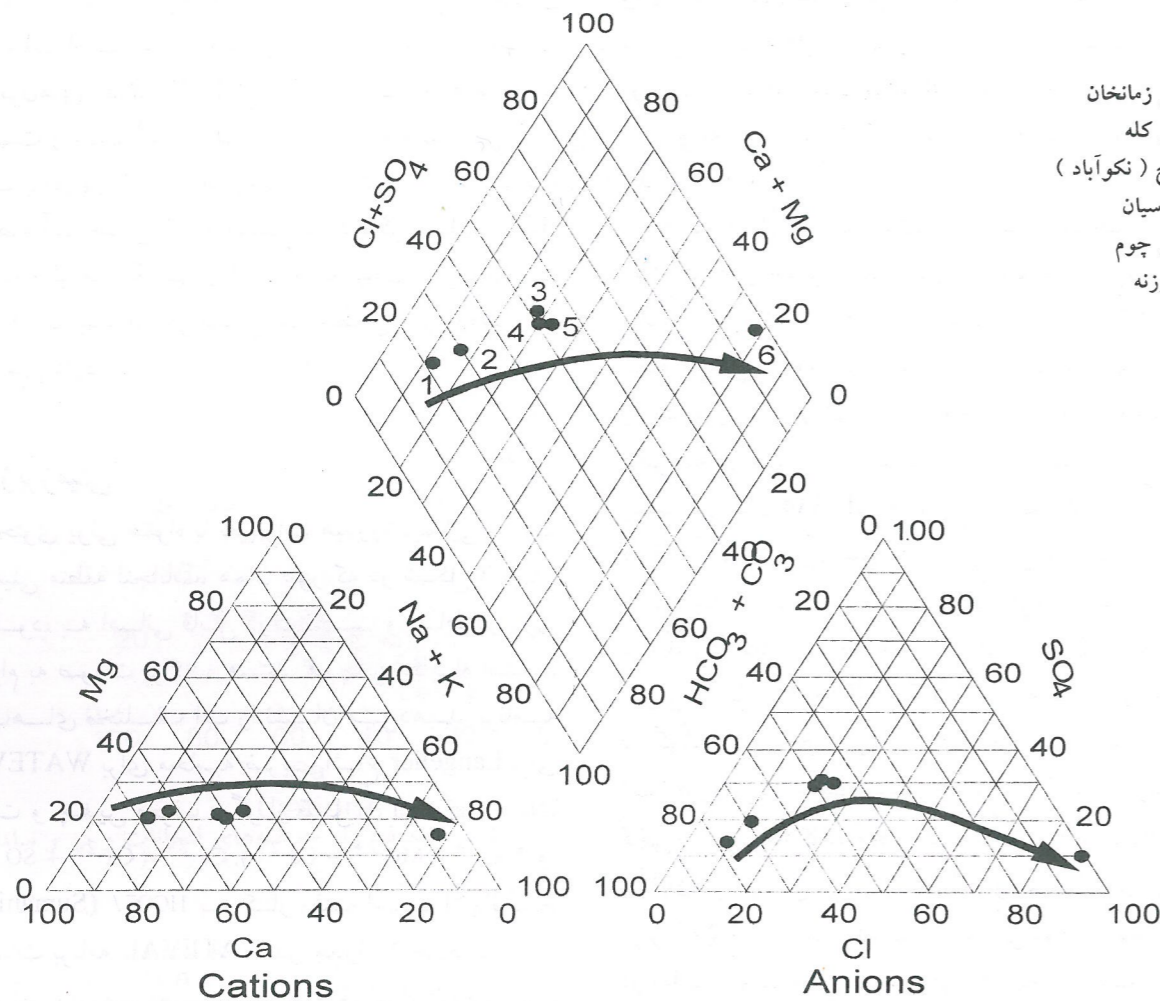
دیاگرام استیف ایستگاه پل زمان‌خان شکل الماسی تبیین این نوع آب را نشان می‌دهد. علاوه بر این در پایین دست پس از اصفهان در ایستگاه پل چوم، غلظت یون‌های سدیم، کلراید، منیزیم و سولفات نسبت به یون کلسیم و بی‌کربنات افزایش یافته است که شکل مستطیلی دیاگرام استیف این موضوع را نشان می‌دهد. دیاگرام پایپر نقاط نمونه‌گیری در پایین دست سد زاینده‌رود را نشان

بنابراین تجزیه و تحلیل حاضر مکمل تحقیق کلباسی و موسوی است که قبلاً انجام شده است. شکل ۵ میانگین مقادیر EC سه ایستگاه پل زمان‌خان، پل چوم و ورزنه را نشان می‌دهد. از نخستین ایستگاه (نزدیک سد زاینده‌رود) تا دومین ایستگاه (پایین دست اصفهان) مقادیر EC از ۳۲۹ تا ۷۶۲ (μS/cm) افزایش می‌یابد. در حالی که از ایستگاه دوم تا سومین ایستگاه (نزدیک باتلاق گاوخونی) EC بیش از ۲۰ برابر افزایش دارد که بعد از اصفهان بیشترین افزایش EC است. ولی EC رودخانه در منطقه لنجان فقط از ۳۰۰ تا ۶۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر افزایش می‌یابد.

تغییرات و ترکیبات یونی زاینده‌رود به صورت دیاگرام پایپر و سه دیاگرام استیف در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده

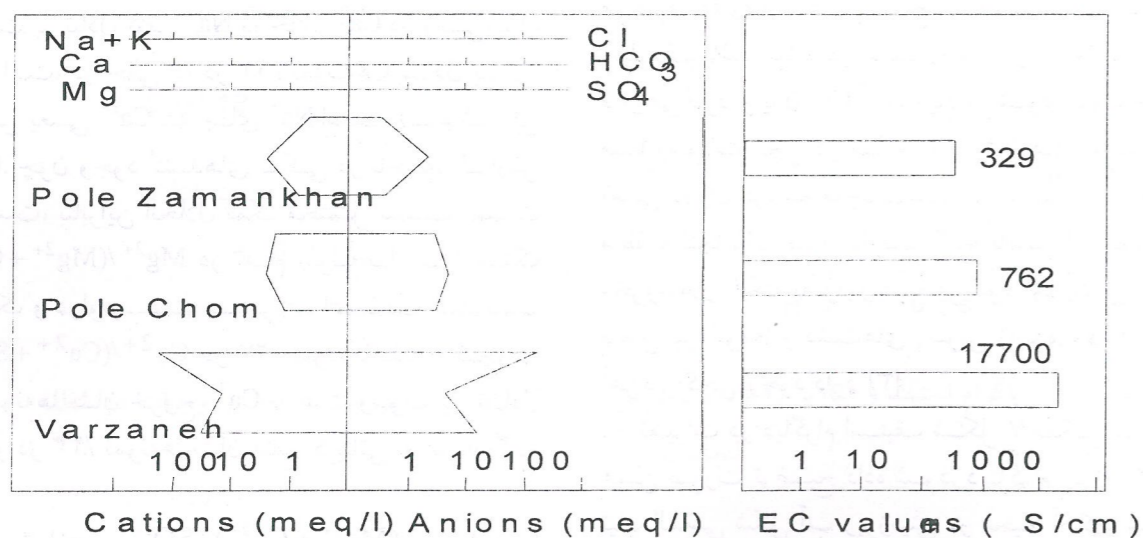
^۱ Limestone

- راهنما
- ۱- پل زمانخان
 - ۲- پل کله
 - ۳- لنج (نکوآباد)
 - ۴- موسیان
 - ۵- پل چوم
 - ۶- ورزنه

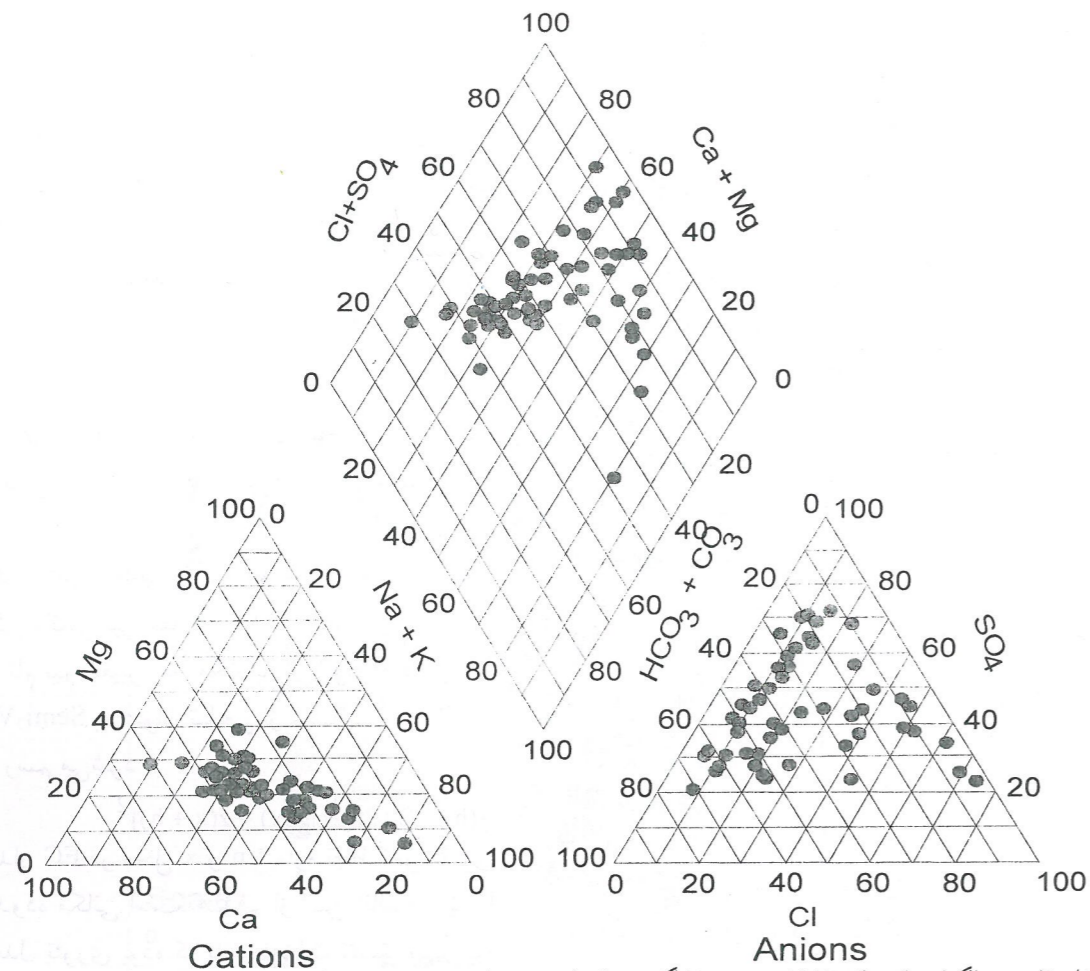


شکل ۴- دیاگرام پایپر که نشان دهنده ارزیابی شیمیایی آب رودخانه زاینده رود از پل زمان خان تا ورزنه

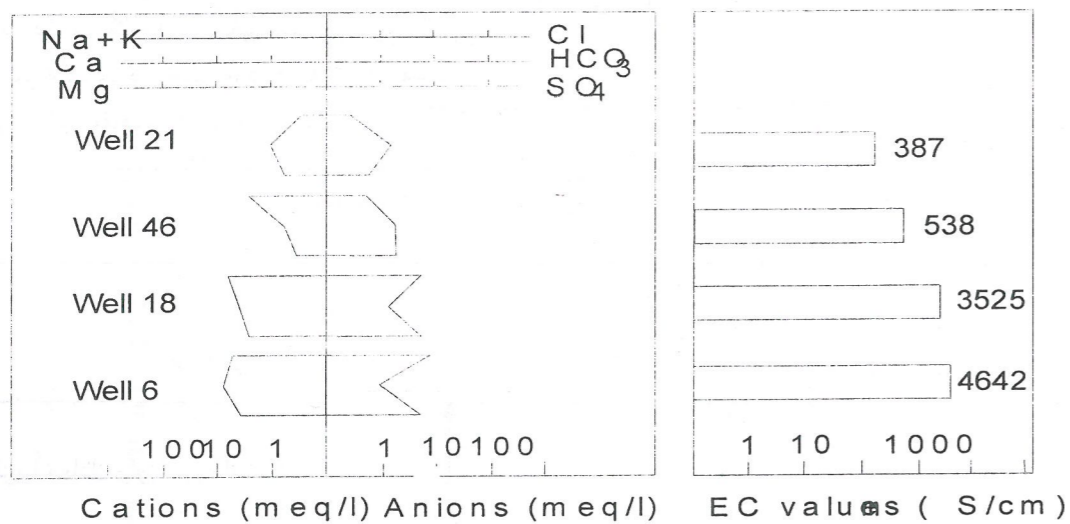
از سال ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۶ است.



شکل ۵- دیاگرام‌های استیف و مقادیر EC، میانگین ترکیبات شیمیایی سه ایستگاه در امتداد رودخانه زاینده رود



شکل ۶ - دیاگرام پایپر که نشان دهنده میانگین ترکیبات شیمیایی ۵۵ منبع معرف زیر حوضه‌های لنجان و بن و سامان از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۷ است.



شکل ۷ - دیاگرام استیف و مقادیر EC، میانگین ترکیبات شیمیایی آب زیرزمینی دو چاه و دو قنات در منطقه لنجان از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۶.

وجود ۲۰٪ نمونه‌ها در این محدوده نشان دهنده آن است که این پدیده محلی است و مشمول عام نیست. سرانجام در همه نمونه‌ها نسبت (Sumanions) HCO_3^- کمتر از ۰/۸ است و به علت این که کلاً سولفات بالاست انحلال گچ شدید می‌باشد.

به طور خلاصه، هیدروشیمی منطقه لنجان که در رشته کوه‌های جنوبی قرار دارد، مشخص می‌سازد که تغذیه آب زیرزمینی در این منطقه در تشکیلات آهکی انجام می‌شود و هم‌چنان که آب زیرزمینی به سمت شمال و زاینده‌رود در حرکت است، به علت تماس با رسوبات گچی که در آب حل می‌شود، از کیفیت آب کاسته می‌شود. رئیسی در سال ۱۹۹۵ این موضوع را گزارش کرده است که اگر آب‌های زیرزمینی مناطق کربناتی با رسوبات گچی یا انیدریت تماس پیدا کند، کیفیت آن به سرعت پایین می‌آید [۲]. دیاگرام پایپر هم این الگو را نشان می‌دهد. آب شیرین کربناتی ($Ca^{2+} - HCO_3^-$) رشته کوه‌های جنوبی در گوشه سمت چپ لوزی رسم شده است. هم‌چنان که آب زیرزمینی به سمت شمال حرکت می‌کند، با رسوبات گچی تماس پیدا کرده محتویات Ca^{2+} آن زیاد، و سپس SO_4^{2-} نیز افزایش می‌یابد. ترکیبات رسم شده در دیاگرام پایپر شدیداً به سمت راست کشیده می‌شود. پراکنش نقاط در مثلث آنیون، چنین توضیح می‌دهد که رسوبات گچی در منطقه به طور یکنواخت توزیع نشده است. اگر مقادیر زیادی گچ حل شود، نقاط به سمت بالای مثلث آنیون قرار می‌گیرد. علاوه بر این اگر گچ موجود در آب زیرزمینی خیلی کم باشد، نقاط در سمت راست رأس مثلث آنیون قرار می‌گیرد و یون Cl^- آن‌ها زیاد می‌شود. با توجه به منشأ رسوبات گچی در منطقه که در شیل‌ها و سنگ‌های آهکی دوران کرتاسه موجود است و در شمال و جنوب منطقه لنجان قرار دارند، گچ ناشی از کوه‌ها در مخروط‌های افکنه به وفور دیده می‌شود. هم‌چنین در حد فاصل بین کوه‌ها و دشت‌های رسوبی زاینده‌رود خاک‌های آهن‌دار گچی وجود دارد [۳].

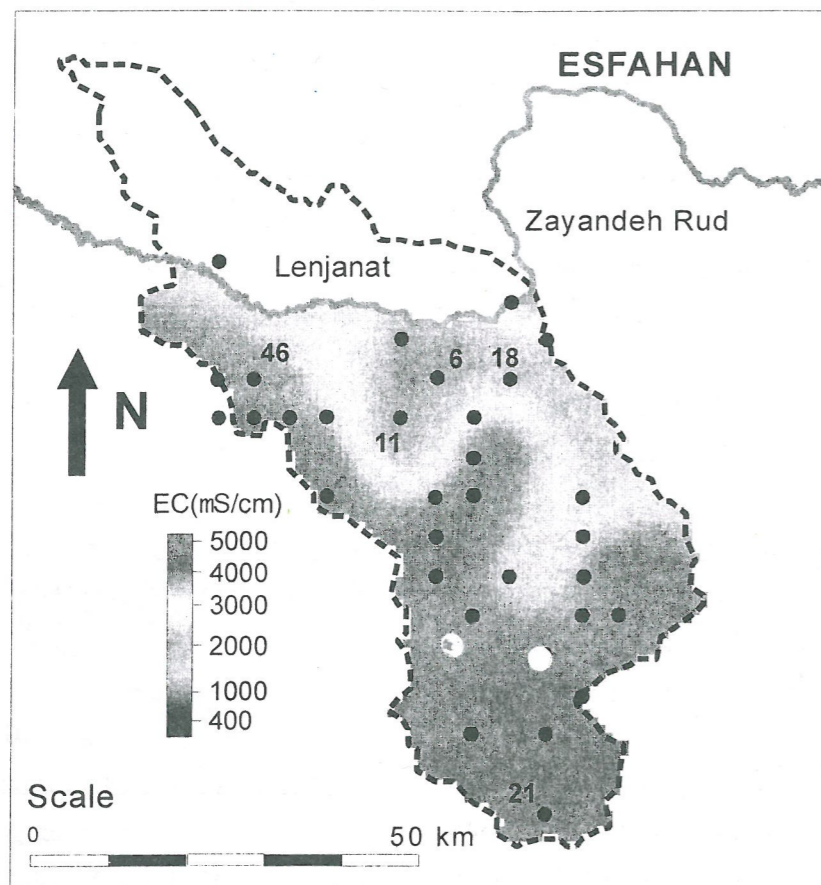
تغییرات در دیاگرام استیف شکل ۷ ممکن است به همین صورت توضیح داده شود. دیاگرام چاه ۲۱ دارای تیپ الماسی شکل آب زیرزمینی در محیط آهکی است، در حالی که در چاه‌های شماره ۱۸ و ۶ غلظت کلر و سولفات افزایش یافته و به طور نسبی بی‌کربنات کم‌تر می‌باشد [۱].

می‌دهد که جهت فلش‌ها به سمت گوشه‌های راست لوزی و دو مثلث است. سرانجام در ورزنه ترکیبات یونی آب با غلبه یون‌های Na^+ ، K^+ ، Cl^- و SO_4^{2-} است که نقاط آن‌ها در سمت راست گوشه لوزی و مثلث‌هاست. دیاگرام استیف برای ورزنه به صورت ساعت شنی است که مشخصه آب خیلی شور است. در دیاگرام پایپر شکل محدب فلش‌ها حکایت از آن دارد که تبادل یونی صورت گرفته است. بنابراین اثر متقابل آب سطحی و زیرزمینی نیاز به بررسی دارد.

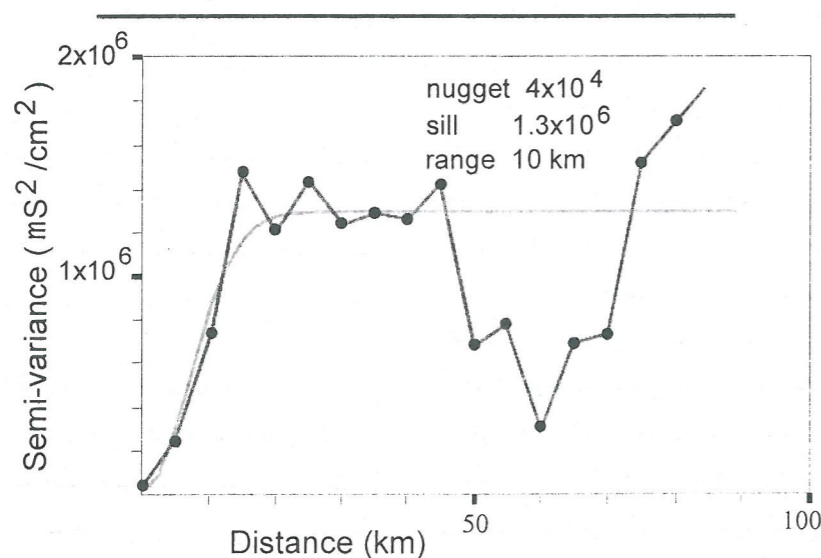
آب زیرزمینی

محتوی یونی همراه با تغییرات هیدروشیمیایی در آب زیرزمینی منطقه لنجان، همان طور که در شکل ۶ دیده می‌شود، به آسانی قابل درک نیست و نقاط در روی دیاگرام به صورت پراکنده هستند. هم‌چنین دیاگرام استیف، تیپ‌های مختلف آب را نشان می‌دهد. برنامه WATEVAL برای محاسبه ضریب اشباع Langelier برای کلسیت و چندین معرف دیگر از قبیل: $Na^+ / (Na^+ + Cl^-)$ ، $Ca^{2+} / (Ca^{2+} + SO_4^{2-})$ و $Mg^{2+} / (Mg^{2+} + Ca^{2+})$ (Sumanions) HCO_3^- به کار رفته است [۶]. نتایج محاسبات برنامه WATEVAL در جدول ۱ خلاصه شده است. آب زیرزمینی نسبتاً با کلسیم فوق اشباع شده و نشان می‌دهد که رسوب کلسیت ممکن است رخ دهد. در ۷۸٪ نمونه‌ها نسبت $Na^+ / (Na^+ + Cl^-)$ بزرگ‌تر از ۰/۵ است که دلالت بر تبادل یونی Na^+ به جای Ca^{2+} در رسی‌های معدنی است، در حالی که در ۱۱٪ نمونه‌ها تبادل یونی بالعکس یعنی Ca^{2+} به جای Na^+ است. (نرم شدگی طبیعی). چون وجود گنبد‌های نمکی در ناحیه، گزارش نشده است، بنابراین انحلال نمک محتمل نیست. نسبت $Mg^{2+} / (Mg^{2+} + Ca^{2+})$ در تمام نمونه‌ها نشان سنگ آهک و دولومیت هوازده است. نسبت $Ca^{2+} / (Ca^{2+} + SO_4^{2-})$ در ۲۷٪ نمونه‌ها نشان گچ، در ۴۰٪ نمونه‌ها نشان خروج Ca^{2+} به علت رسوب یا تبادل یونی، و در ۳۳٪ نمونه‌ها نشان منابع کربناتی به غیر از گچ است.

اگر شاخص $(Mg^{2+} + Ca^{2+}) / SO_4^{2-}$ بین ۰/۸ تا ۲/۱ باشد، احتمال دارد پدیده تخریب دولومیت رخ دهد.



شکل ۹ - نقشه کریج شده (kriged map) مقادیر EC قسمت جنوبی منطقه لنجانان در سمت راست زاینده رود.



شکل ۱۰ - Semivariogram مقادیر EC در قسمت جنوبی منطقه لنجانان در جنوب زاینده رود.

۲- کریجینگ

مدل تغییر نما^۲ برای مدل تعیین همبستگی مکانی فرایند کریجینگ ساخته می‌شود. از آنجا که به راحتی می‌توان با این روش ارتباط برقرار کرد، بهترین روش آماری برای درون‌یابی و به دست آوردن خطوط تراز می‌باشد.

در حال حاضر، همان طور که قبلاً ذکر شد، مختصات موقعیت نقاط نمونه‌برداری با دقت ۵ کیلومتر و در شبکه‌های (۵×۵) کیلومترمربع ثبت شده که این مشکل بزرگ دیگری است. با این وجود روش کریجینگ با احتیاط ویژه استفاده، و نتایج آن در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است. مدل گوس با اندازه (nugget) ۴۰۰۰، $(\mu S^2/cm^2)$ آستانه 1300000 و دامنه 40 کیلومتر بهترین برازش را با داده‌ها دارد (شکل ۱۰).

به منظور کریج کردن، مدل نیم تغییر نما فقط برای مسافت صفر تا ۲۰ کیلومتر استفاده می‌شود. بنابراین انحراف تغییر نما از مدل برای مقادیر مسافت بالای ۴۰ کیلومتر مهم نیست. سرانجام روش کریجینگ با استفاده از نرم‌افزار ILWIS2/2 انجام شده است و نتایج به صورت نقشه در شکل ۹ نشان داده شده است.

در شکل ۱۰، مدل Variogram این نقشه که شعاع عمل آن ۲۰ کیلومتر و اندازه پیکسل آن ۱ کیلومتر است، نشان داده شده است.

^۲ Variogram

در دیاگرام استیف، چاه شماره ۴۶ حالت جداگانه‌ای را معرفی می‌کند که با دیگر نمونه‌ها فرق دارد، زیرا حجم $(Na^+ + K^+)$ آن بالا و آب زیرزمینی این ناحیه به صورت تیپ کربناتی-قلیایی طبقه‌بندی می‌شود.

زمین آمار

توزیع مکانی مقادیر EC در منطقه لنجانان با روش کریجینگ تعیین شده است. این آنالیزها به دو مرحله نیاز دارد [۷ و ۸]:

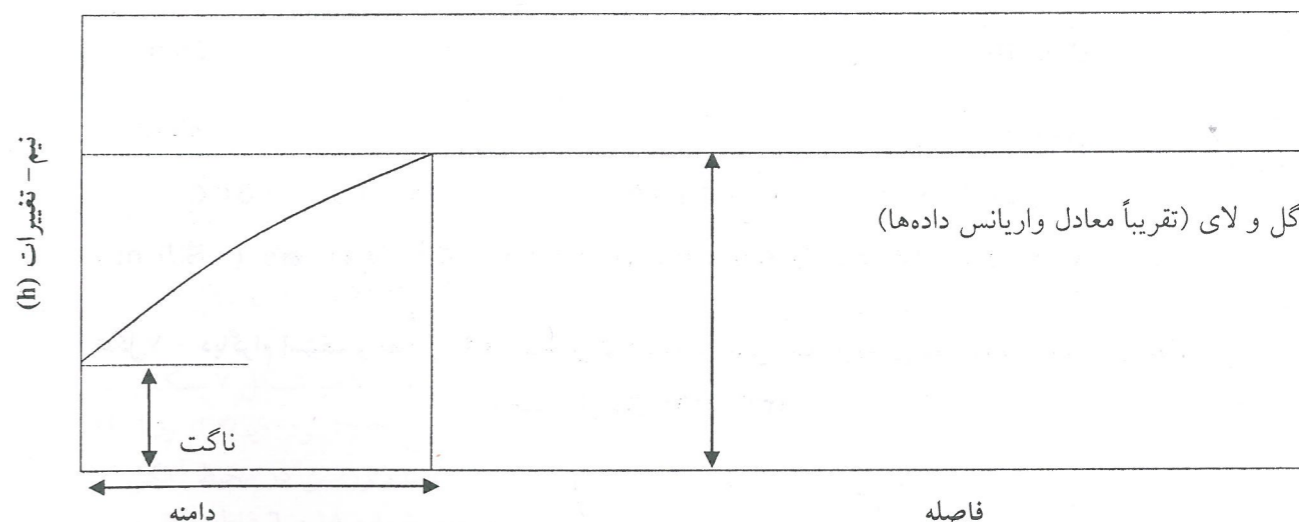
۱- تعیین همبستگی مکانی در مجموعه داده‌ها

همبستگی مکانی بین مقادیر EC در محل‌های مختلف با روشی به نام نیم-تغییر نما^۱ محاسبه می‌شود که در این جا γ Semi-Variance به عنوان تابعی از مسافت بین نقاط نمونه‌گیری رسم می‌شود:

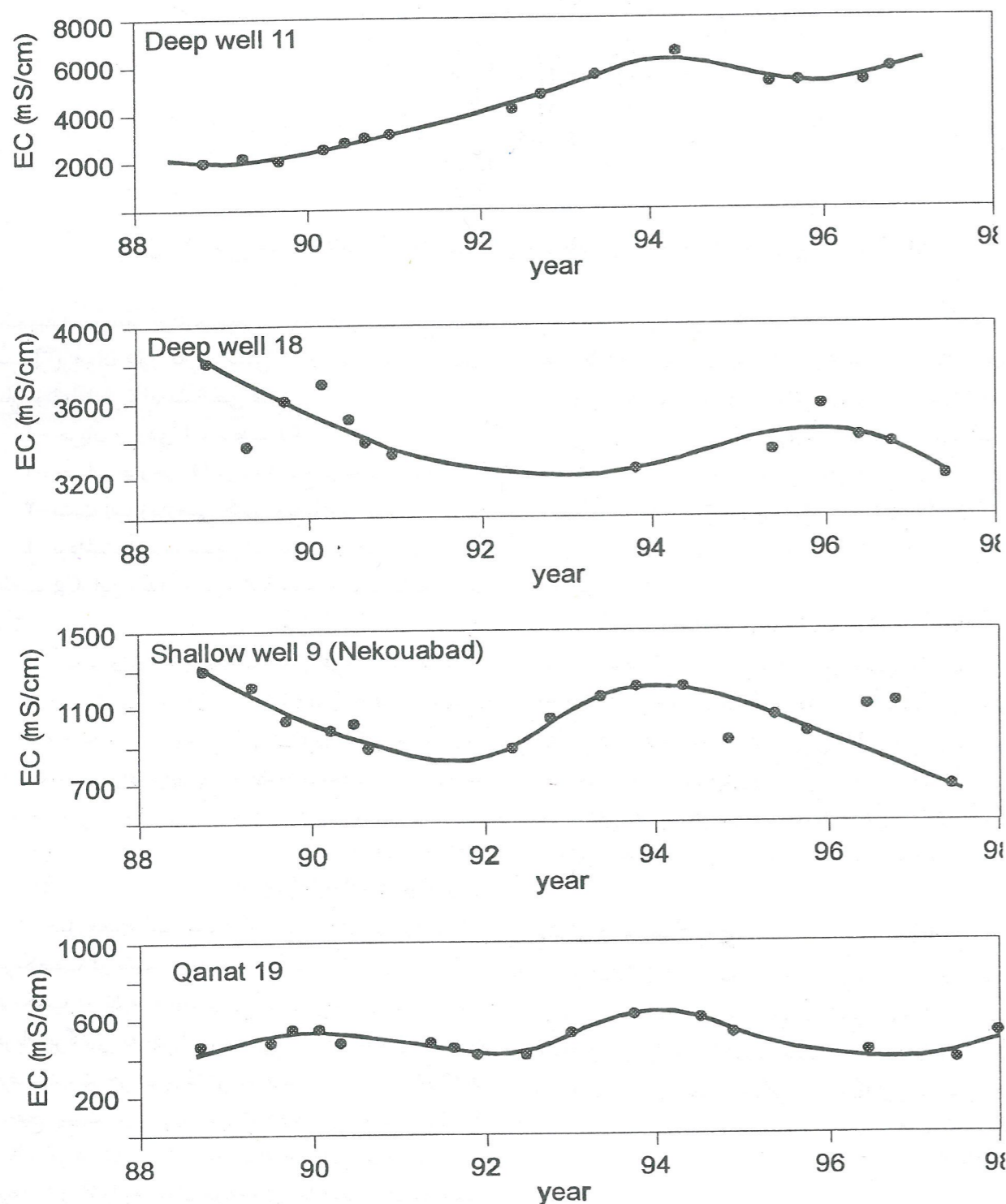
$$\gamma(h) = (1/2n) \sum [z(x) - z(x+h)]^2$$

که z مقدار EC در محل x و n شماره نقاط نمونه‌گیری در یک محدوده مکانی است. هدف از این آنالیزها پیدا کردن یک مدل تئوری بوده که با مشاهدات تطبیق یابد. این مدل دارای یک آستانه (که تقریباً معادل واریانس داده‌ها است)، و یک دامنه (مساافتی که در آن همبستگی مکانی دیگر وجود ندارد)، و یک اندازه (تغییر تصادفی بین مقادیر در محل‌های نمونه‌گیری که خیلی نزدیک همدیگر هستند) است. در شکل ۸ این مفاهیم نشان داده می‌شود.

^۱ Semi-variograms



شکل ۸- مشخصات نیم-تغییر نما.



شکل ۱۱- روند طولانی مدت مقادیر EC در ۴ نقطه نمونه برداری (چاه ۹، ۱۱ و ۱۸ و قنات شماره ۱۹).

نمودار نشان می‌دهد که از سال ۱۳۶۷ مقادیر EC در اطراف این چاه به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته که احتمالاً ناشی از آبیاری است. سرانجام نوسانات EC در قنات شماره ۱۹ معرف نوسانات طبیعی EC در دیگر قنات و چشمه‌های منطقه لنجان است. دامنه این نوسانات طبیعی ۲۰۰ (μS/cm) است که روند معنی‌داری نسبت به زمان ندارد.

بحث و تجزیه و تحلیل

با استفاده از داده‌هایی که توسط سازمان آب منطقه‌ای اصفهان (وابسته به وزارت نیرو) فراهم شد، توصیف تغییرات جنبه‌های هیدروشیمیایی آب سطحی و آب زیرزمینی امکان‌پذیر گردید. رودخانه زاینده‌رود از محیط‌های سنگ آهکی منشأ می‌گیرد و هم‌چنان که از بالادست حوزه به سمت باتلاق گاوخونی حرکت می‌کند، ترکیباتش افزایش یافته و شور می‌شود و وقتی از منطقه لنجان می‌گذرد، تغییرات EC آن دو برابر می‌شود و از حدود ۳۰۰ به ۶۰۰ (μS/cm) می‌رسد. منشأ آب زیرزمینی به احتمال زیاد محیط‌های آهکی رشته کوه‌های جنوبی بوده که EC آن در حدود ۴۰۰ (μS/cm) است و هم‌چنان که این آب به سمت شمال حرکت می‌کند، بیشتر معدنی شده و خصوصاً وقتی با رسوبات گچی تماس داشته باشد، EC آن تا حد ۲۰۰۰ (μS/cm) افزایش می‌یابد. هدایت الکتریکی ممکن است در نزدیک زاینده‌رود به ۶۰۰۰ (μS/cm) برسد. روندهای زمانی نشان می‌دهد، این افزایش به علت عواملی مانند آلودگی صنایع با آبیاری گسترده با آب زیرزمینی است. آب چاه‌های خیلی عمیق ممکن است در تماس با آبخوان‌های عمیق خیلی شور شود که در این حالت نمونه‌گیری را تحت تأثیر قرار خواهد داد. به دلیل نوسانات تقریباً زیاد مقادیر EC نسبت به زمان، یک سیستم فعال آبخوان آزاد تشخیص داده شده است. هم‌چنان که در متن اصلی بحث شد، حل مجدد این موضوع، نیاز به کار صحرایی و مطالعاتی بیشتری دارد. به نظر می‌رسد پس از رسیدن آب زیرزمینی و آب برگشتی آبیاری به رودخانه زاینده‌رود با آب شیرین رودخانه مخلوط شود. این موضوع دستورالعمل ساخت یک مدل ساده مفهومی برای این وضعیت است.

یک مقطع رودخانه از پل کله تالنج (نکوآباد) به عنوان

تصویر به وضوح نشان می‌دهد که، عمده تغذیه آب زیرزمینی در رشته کوه‌های جنوبی انجام می‌گیرد و آب زیرزمینی در حالی که به سمت شمال حرکت می‌کند، بیشتر معدنی می‌شود. مقادیر EC بالا در اطراف چاه‌های ۶، ۱۱ و ۱۸ ممکن است به خاطر سه دلیل زیر باشد:

- ۱- وجود یک منبع آلوده کننده مانند صنایع.
- ۲- استفاده وسیع از آب زیرزمینی برای آبیاری در ناحیه اطراف چاه‌ها.
- ۳- ممکن است چاه‌های عمیق در آبخوان شور با عمق زیاد حفاری شده باشند.

در هر صورت برای تشخیص و دستیابی به علل واقعی، نیاز به کارهای قبلی و بازدید صحرایی است چون در حال حاضر موقعیت مکانی چاه‌ها روی نقشه دارای دقت کافی نمی‌باشد.

تجزیه و تحلیل روند

در شکل ۱۱ چند نمونه معرف نشان داده شده که به شرح زیر توضیح داده می‌شود:

مقادیر EC چاه شماره ۱۱ پس از گذشت ۱۰ سال سه برابر شده است. صعود EC را نمی‌توان با شرایط جریان آب زیرزمینی طبیعی، توضیح داد. هم‌چنان که قبلاً ذکر شد این صعود ممکن است دو علت داشته باشد: اثرات منبع آلوده کننده یک کارخانه و یا در اثر آبیاری بی‌رویه با آب زیرزمینی. در هر صورت توضیح این صعود، مطالعات و کار صحرایی بیشتری را می‌طلبد.

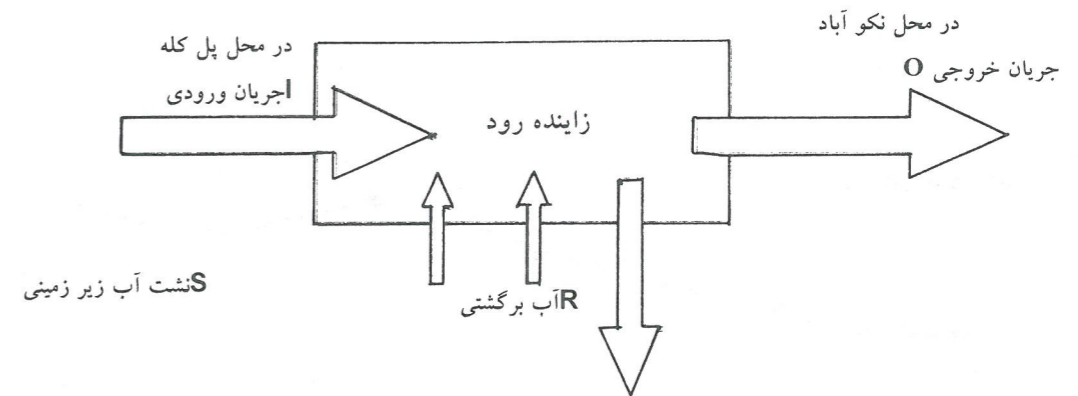
اگرچه مقادیر EC چاه شماره ۱۰ نسبت به زمان به میزان قابل ملاحظه‌ای صعود کرده، ولی به دلیل این که چاه مزبور خارج از منطقه لنجان است و در نزدیکی مرز بین نجف‌آباد و منطقه مهاباد قرار دارد از حوصله این بحث خارج است.

چاه شماره ۱۸ با EC بالا که در منطقه مذکور قرار دارد، و نوسانات EC آن نشان می‌دهد که این مقادیر نسبت به زمان کاهش یافته و به نظر می‌رسد که نوسانات را نمی‌توان با شرایط جریان طبیعی آب زیرزمینی توضیح داد و ممکن است علت آن آبیاری با آب رودخانه در نزدیکی محل چاه باشد.

چاه کم عمق شماره ۹ در خارج از منطقه لنجان است و در داخل منطقه نجف‌آباد در شبکه آبیاری نکوآباد قرار دارد.

منابع و مراجع

- ۱- کلباسی، م.، موسوی، ف. (۱۳۷۴). "مطالعه ۷ ساله تغییرات ازت، فسفر و هدایت الکتریکی و pH در آب زاینده رود"، مجموعه مقالات کنفرانس منطقه‌ای مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۸-۶ شهریور ۱۳۷۴، صفحه ۸۶-۷۵.
- ۲- رئیس، ع. (۱۳۷۴). "نقش کیفیت در بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی"، مجموعه مقالات کنفرانس منطقه‌ای مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۸-۶ شهریور ۱۳۷۴، صفحه ۱۶۰-۱۴۷.
- ۳- تومانیان، ن. و جلالیان، ا. و ذوالانوار، ع. (۱۳۷۹). "منشاء گچ در اراضی شمال غربی استان اصفهان"، مجله علمی کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان، جلد سوم، صفحه ۴۰-۲۵.
- 4- Appelo, C.A.J., and Postma, D., (1996). "Geochemistry, Groundwater and Pollution", Third Corrected Print, A.A. Balkema Publishers, the Netherlands.
- 5- Droogers, P., Torabi, M., and Akbari, M., (2000). "Exploring Field Scale Salinity Using Simulation Modelin for Rudasht", IAERI-IWMI Research Report (in Press).
- 6- Droogers, P., Salemi, H.R., and Mamanpoush, A.R., (2000). "Exploring Basin Scale Salinity Problems Using a Simple Water Accounting Approach- a Case Study of the Zayandeh Rud Basin", Iran. IAERI-IWMI Research Report (in Press).
- 7- Hounslow, A.W., (1995). "Water Quality Data: Analysis and Interpretation", CRC Press Inc.
- 8- Isaaks, E.K., Srivastava, R.M., (1989). "An Introduction to Applied Geostatistic", Oxford University Press.
- 9- Murray-Rust, H., Salemi, H.R. and Mamanpoush, A.R., (2000). "Analysis of Inflows into Chadegan Reservoir", IAERI-IWMI Research Report (in Press).
- 10- Salemi, H.R., Mamanpoush, A.R., Miranzadeh, M., Akbari, M., Torbi, M., Toomanian, N., Murray-Rust, H., Droogers, P., and Gieske, A., (2000). "Water Management for Sustainable Agriculture in the Zayandeh Rud Basin", IAERI-IWMI Research Report (in Press).



شکل ۱۲- طرح مدل اختلاط (مدل مفهومی) برای یک مقطع رودخانه زاینده رود از پل کله تا نکوآباد.

داد. روش کلی سلول مخلوط^۱، نه تنها برای محاسبات بقای TDS، بلکه برای بقای هر نوع یون منفرد قابل تعمیم است و همه آن‌ها مشمول قانون بقا می‌باشند. از این روش نمی‌توان در واکنش شیمیایی نظیر رسوب استفاده کرد. معمولاً این امر منجر به حالتی می‌شود که تعداد معادلات، بیشتر از تعداد پارامترهای مجهول است. این سری معادلات را می‌توان با روش‌های استاندارد ریاضی حل کرد.

سرانجام مثال داده شده در اینجا، اهمیت در نظر گرفتن مولفه جریان خروجی و آب زیرزمینی را روی توازن محلول در زاینده رود، نشان می‌دهد. جریان آب زیرزمینی و مدل کردن انتقال جرم، راهنمایی برای ارزیابی مولفه جریان خروجی و آب زیرزمینی و مقادیر EC در منطقه لنجانات است. این مدل‌سازی دارای اهمیت عملی زیاد در بهبود و ارتقای تخمین‌های مربوط به آب برگشتی می‌باشد.

تشکر و سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از آقایان علی‌اکبر صابری و ذهب صنیعی کارشناسان سازمان آب منطقه‌ای اصفهان به خاطر همکاری در ارائه اطلاعات مفید مربوط به شیمی آب زیرزمینی و آب سطحی تشکر و سپاسگزاری می‌نمایند.

^۱ Mixing cell

یک سلول در نظر گرفته شد و مورد بحث واقع شده است [۳]. همان طور که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، پنج مولفه را می‌توان تشخیص داد:

- ۱- جریان ورودی I با غلظت Ci
- ۲- جریان خروجی O در محل لنج با غلظت Co
- ۳- نشست آب زیرزمینی S به رودخانه با غلظت Cs
- ۴- برداشت آب به منظور آبیاری و مصرف شهری G با غلظت Cg، این مقدار حدود ۹/۵ مترمکعب در ثانیه است [۵].

۵- آب برگشتی R با غلظت Cr (با فرض ۱۰٪ نمک) مقادیر شاخص جریان‌ها و غلظت‌های آن‌ها در جدول ۲ خلاصه شده است. بر اساس قانون بقای جرم برای محلول‌ها، می‌توان برای پنج مولفه جریان، دو معادله به صورت زیر نوشت:

$$I+S+R=G+O \quad (۱)$$

$$CiI+CsS+CrR=CgG+CoO \quad (۲)$$

از حل معادلات، مقدار جریان برگشتی برابر ۴/۳ مترمکعب در ثانیه و مقدار جریان نشست برابر ۲/۱ مترمکعب در ثانیه به دست می‌آید. بنابراین درصد نسبت جریان برگشتی به جریان برداشتی ۳۶٪ می‌شود و محاسبه درصد نسبت جریان برگشتی به صورت $(R+S)/G = ۵۸\%$ صحیح نیست. باید توجه داشت که در این حالت غلظت S و R برابر هستند و ادامه حل معادله امکان‌پذیر نیست و دو مولفه S و R را به عنوان مولفه‌های جدا نمی‌توان تشخیص