تحليل كيفي منابع آب زيرزميني در زون‌هاي آلتراسيون هيدروترمال گستره تارم زنجان با استفاده از آناليزهاي چندمتغيره[۱]

حميدرضا پيروان[۲] جعفر غيوميان[۳] ضياءالدين شعاعي[٤]

چكيده

فرايندهاي زمين‌شناسي و معدني، كشاورزي و صنعتي مي‌توانند موجب آزادشدن عناصر مسموميت‌زا در چرخه زيست‌محيطي شوند. اگر اين عناصر از سه برابر حد مجاز و مورد نياز، وارد بدن شده و مصرف شوند، در درازمدت مي‌توانند خطرآفرين باشند. در اين تحقيق به‌منظور تعيين ويژگي‌هاي ژئوشيميايي آب‌هاي زيرزميني متأثر از زون‌هاي آلتراسيون هيدروترمال در منطقه تارم، ۳۱ نمونه آب در مناطق با دگرساني گرمابي و در واحدهاي سنگي دگرسان‌نشده (رسوبات كواترنر، سنگ‌هاي آذرآواري و گدازه‌هاي سالم، گرانيت و طبقات مارني) برداشت و مورد آناليز شيميايي و عنصري قرار گرفت. ويژگي‌هاي هيدروژئوشيميايي نمونه‌ها با استفاده از تكنيك‌هاي آناليز چندمتغيره شامل آناليز خوشه‌اي و تحليل تميزي، مورد تجزيه و تحليل قرار گرفتند. نتايج، نشان داد كه آب‌هاي آلوده و آلايش‌يافته توسط زون‌هاي آلتراسيون به خوبي از آب‌هاي ديگر مناطق تارم با استفاده از روش‌هاي آماري چندمتغيره قابل تشخيص و تفكيك‌اند. به‌منظور بررسي ماهيت شيميايي گروه‌هاي آب به‌دست آمده از آناليزهاي چندمتغيره، مقادير ميانگين هر يك از شاخص‌هاي شيميايي در هرگروه با استفاده از نمودار استيف مورد ارزيابي قرار گرفت. مقايسه گروه‌ها نشان مي‌دهد كه كيفيت آب به‌تدريج با افزايش ميزان تأثير زون‌هاي آلتراسيون به‌شدت كاهش يافته است، به نحوي كه آب‌هاي مناطق دگرساني داراي طعم ترش، مضر تا بي‌نهايت مضر براي شرب و بسيار نامناسب براي كشاورزي مي‌باشند.

واژه‌هاي كليدي: *زون‌هاي آلتراسيون، هيدروژئوشيمي، آناليز چندمتغيره، آناليز خوشه‌اي، آناليزتميزي، كيفيت آب.*

۱- تاريخ دريافت: ۷۳/۲/۷، تاريخ پذيرش: ۸۳/۹/۱۷

۲- عضو هيئت علمي پژوهشكده حفاظت خاك و آبخيزداري، ص.پ.۱۱۳٦- ۱۳٤٤٥ **E-mail: Payrowan@scwmri.ac.ir**

۳- استاديار پژوهشكده حفاظت خاك و آبخيزداري، ص.پ.۱۱۳٦-۱۳٤٤٥

۴- دانشيار پژوهشكده حفاظت خاك و آبخيزداري، ص.پ.۱۱۳٦-۱۳٤٤٥

مقدمه

تعيين مشخصه‌هاي كيفي آب به لحاظ شيميايي، فيزيكي و بيولوژيكي، نشان مي‌دهد كه آب مورد نظر تا چه حد براي مصرف خاصي مناسب است. سازندهاي زمين‌شناسي، بستر حركت آب زيرزميني است و پيوسته كيفيت آب در واكنش با مصالح زمين‌شناسي دستخوش تغيير و تبديل مي‌شود، ازاين‌رو آب‌هاي زيرزميني به‌طور معمول در مناطق بالادست، از كيفيت بهتري برخوردارند. بررسي ويژگي‌هاي كيفي منابع آب با استفاده از روش‌هاي متداول نظير نمودارهاي پايپر، استيف، شولر و ويلكوكس (٤)، اگرچه قابليت كاربرد فراواني دارد، ولي داراي محدوديت به‌كارگيري نوع شاخص‌هاي كيفي است و از طرف ديگر افزايش تعداد مشاهدات تفسير را با مشكل مواجه مي‌سازد. علاوه بر آن، كيفيت آب داراي مفهومي‌چندگانه و با ابعاد مختلف است، ازاين‌رو آناليزهاي چندمتغيره[1] مي‌تواند روشي مناسب براي تجزيه و تحليل اين داده‌ها به‌شمار آيد. در چند دهه اخير آناليزهاي چندمتغيره در شاخه‌هاي مختلف علوم زمين به‌طور روزافزون مورد استفاده قرار گرفته‌اند(٥). محققان مختلف از اين روش در تحليل‌هاي كاني‌شناسي و پترولوژي استفاده كرده‌اند (١٠ و ١٣). Djafarov به كمك آناليز تميزي[2] و آناليز خوشه‌اي [3] چهار گروه سنگ‌هاي داراي استعداد مخزن را تفكيك كرده است (٣). تركيب آناليز مولفه‌هاي اصلي و خوشه‌اي براي طبقه‌بندي سنگ‌ها و تهيه نقشه زمين‌شناسي مهندسي نيز مورد توجه واقع شده است(٨). بدون شك بيشترين كاربرد اين روش‌ها در سال‌هاي اخير مربوط به تحليل داده‌هاي هيدروشيمي است. تحليل عاملي[4] به‌طور گسترده‌اي در تحليل‌هاي هيدروشيمي‌كاربرد داشته است. اين روش به‌منظور تفسير داده‌هاي كيفيت آب و ارتباط آنها با فرايندهاي هيدروژئولوژيك مورد استفاده قرار مي‌گيرد (٧ و ١٤).

تركيب آناليزهاي خوشه‌اي، تميزي و مولفه‌هاي اصلي[5] در طبقه‌بندي و تفسير داده‌هاي هيدروشيمي‌مورد توجه خاص محققان بوده است. Riley و همكاران (١٩٩٠) از طريق آناليزهاي چندمتغيره شامل آناليز خوشه‌اي و تحليل تميزي مبادرت به تعيين جهت حركت آب‌هاي زيرزميني در رشته ارتفاعات سدل واشنگتن كردند) ١٢). Melloul و همكاران (١٩٩٢) از طريق آناليز مولفه‌هاي اصلي كيفيت منابع آب زيرزميني دشت ساحلي فلسطين اشغالي را مورد تفسير قرار دادند) ٩). Ghayomianو همكاران (١٩٩٤) با استفاده از روش‌هاي آناليز مولفه‌هاي اصلي، آناليز خوشه‌اي و آناليز تميزي مبادرت به تفسير هيدروشيمي‌يك سد خاكي و تخمين تراوش از آن را كردند) ٦). Anzawa و همكاران (٢٠٠١) با استفاده از تحليل عاملي و آناليز مولفه‌هاي اصلي، فرايندهاي ژئوشيميايي منابع آب در مناطق آتشفشاني ژاپن را مورد بررسي قرار دادند) ١). Reghunathو همكاران (٢٠٠٢) فرايندهاي اختلاط منابع آب زيرزميني ناحيه كارانتاكا در هندوستان را از طريق آناليز خوشه‌اي و فاكتوري مورد تجزيه و تحليل قرار دادند(١١).

در اين تحقيق براي طبقه‌بندي داده‌هاي هيدروشيمي و تعيين مناطق متأثر از آلودگي ناشي از زون‌هاي آلتراسيون در ابعاد مختلف شيمي‌آب و عناصر سنگين در منطقه تارم از روش‌هاي آناليز خوشه‌اي و آناليز تميزي استفاده شد. در ضمن ازطبقه‌بندي‌هاي مختلف رايج از جمله استيف، شولر و ويلكوكس براي طبقه‌بندي اوليه بهره گرفته شده است.

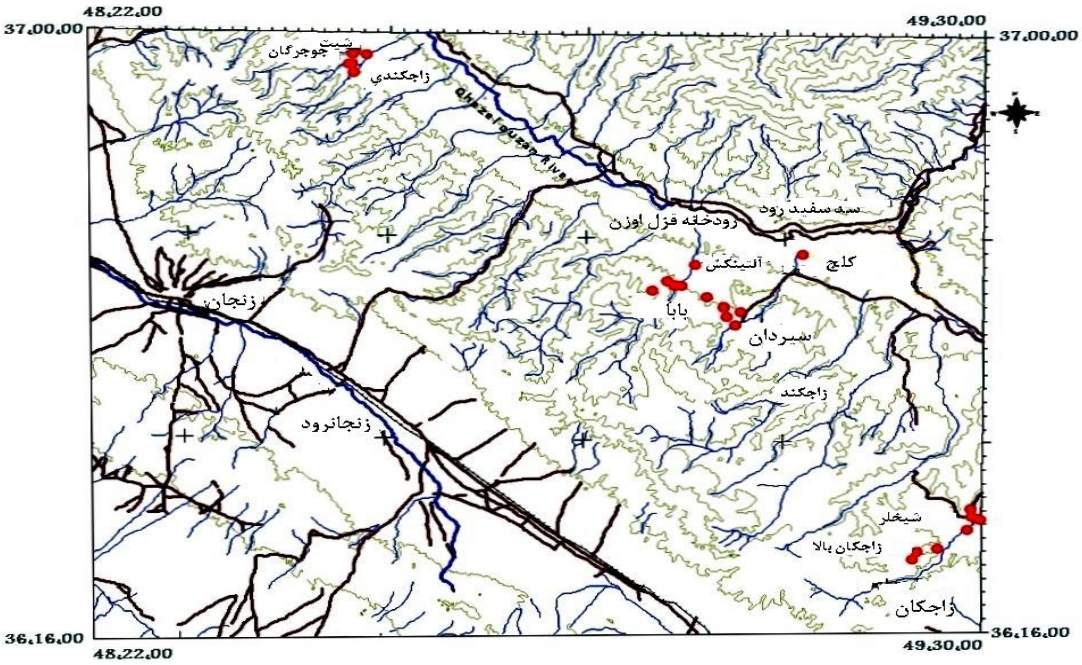
مواد و روش‌ها

موقعيت جغرافيايي منطقة مورد مطالعه

منطقة مورد مطالعه در محدودة جغرافيايي ′٣٠، °٤٨ تا ′٠٠، °٥٠ طول شرقي و ′٠٠، °٣٦ تا ′٠٠، °٣٧ عرض شمالي واقع شده است. اين محدوده، به‌طور عمده در نقشه زمين‌شناسي٢٥٠٠٠٠: ١ زنجان قرار دارد و بخشي از گوشة جنوب غرب نقشة چهارگوش زمين‌شناسي "قزوين-رشت"

١- Multivariate Analysis
٢- Discriminant Analysis
٣- Cluster Analysis
٤- Factor Analysis
٥- Principal Components Analysis

را نيز دربر مي‌گيرد. از شرق به كوهين قزوين، از شمال بـه سد منجيل، از غرب به روستاي پاوه‌رود در درة قـزل اوزن و از جنوب به جـادة "ابهـر-زنجـان" محـدود اسـت و شـامل سلسله ارتفاعات كوه‌هاي تـارم شـرقي و غربـي بـه وسـعت حـدود ۲۰۰۰۰ كيلـومتر مربـع اسـت. شـكل ۱ موقعيـت نمونه‌هاي آب برداشت‌شده درسلسله ارتفاعات تارم را نشان مي‌دهد.



شكل ۱- موقعيت نمونه‌هاي آب برداشت‌شده درسلسله ارتفاعات تارم، مقياس تقريبي ۱:۱۰۰۰۰۰۰

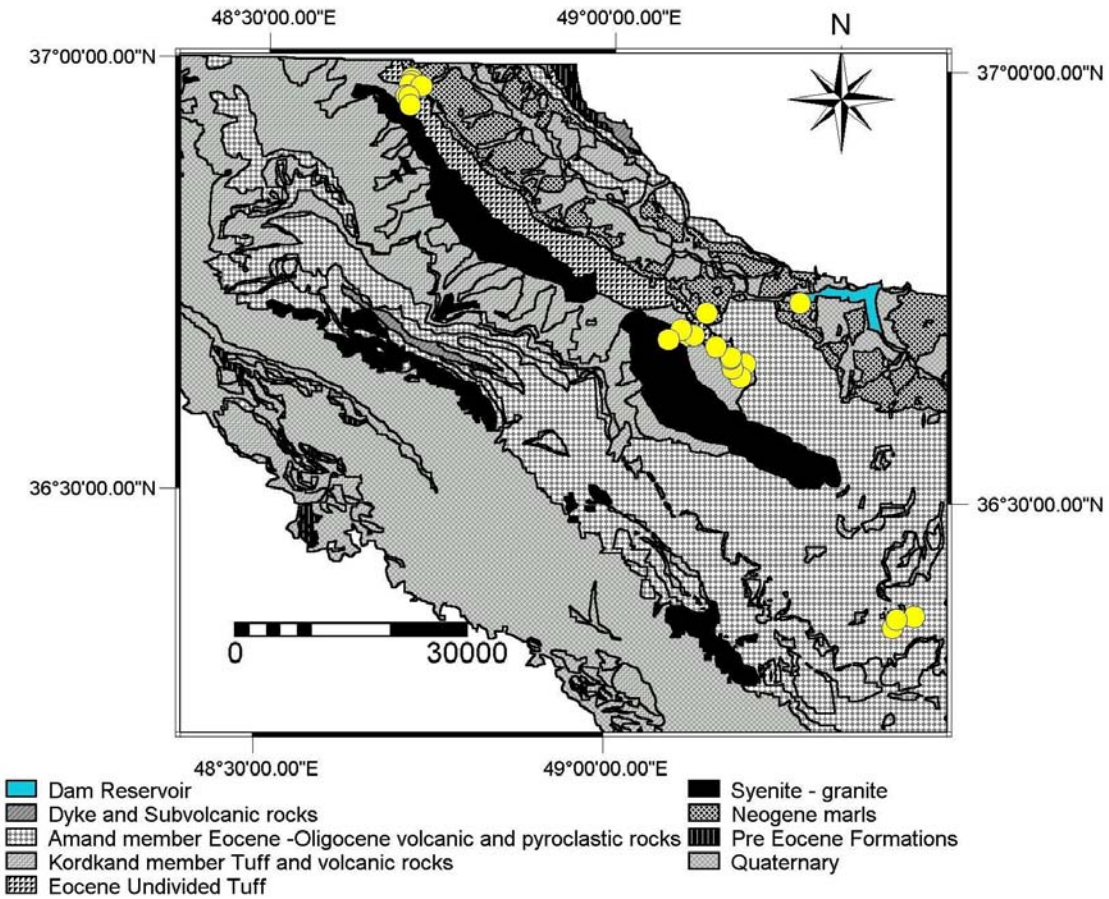
ويژگي‌هاي زمين شناسي گسترة طرح

محدودة مورد مطالعه بخشي از ارتفاعات تارم سفلي و عليا در زون البرز مركـزي اسـت. بـه‌طـور عمـده از سـنگ‌هـاي آذرآواري و گدازه‌هاي ائوسـن- اليگوسـن و نيـز تـوده‌هـاي نفـوذي و سـنگ‌هـاي نيمـه‌عميـق تشـكيل شـده كـه در بخش‌هاي كم ارتفاع آن، رسوبات قاره‌اي قرمز رنـگ نئـوژن رخنمون دارند كه گاه به‌وسيله گدازه‌هاي جوان‌تـر پوشـيده شده‌اند (شكل ۲).

در اوايل نئوژن و شايد همزمان با ته‌نشسـت‌هـاي دريـايي نئوژن، توده‌هاي "سـينيتي- مـونزونيتي" در منطقـه نفـوذ كرده و سبب پيدايش آلتراسيون‌هاي وسيع هيدروترمالي در سنگ‌هاي تـوفي و آتشفشـاني بـه سـن ائوسـن ميـاني تـا اليگوسن شده است. كاني‌زايي كائولن، آلونيت و سيليس در سطح وسيع، در اثر همين پديـده بـه‌وجـود آمـده و ذخـاير عظيمي را شامل مـي‌شـود. محـدوده زون‌هـاي آلتراسـيون زاجكان، نهران، يوزباشي چاي، سيردان، زاجكنـدي، تاكنـد، النگيه و بسياري از منـاطق ديگـر از جملـه منـاطق وسـيع دگرسـاني منطقـه تـارم اسـت. بررسـي كـاني‌شناسـي و ژئوشيميايي واحدهاي سنگي دگرسان‌شده نشـان مـي‌دهـد كـه زون‌هـاي آلتراسـيون از منشـأ اپـي‌ترمـال و از تـأثير محلول‌هاي گرمابي سولفاته شديد[1] به‌وجود آمده‌اند. در اثـر فرايند آلتراسيون هيدروترمال بسـته بـه تركيـب شـيميايي سيال و سنگ مادر، واكنش‌هـاي شـيميايي و ژئوشـيميايي خاصي رخ داده و سبب غني‌شدگي يا تهـي‌شـدگي پـاره‌اي عناصردر سنگ مادر آندزيتي، داسـيتي و ريـوليتي منطقـه طرح شده است، همچنين توالي قائمي‌از آلتراسيون از قاعده

۱- High Sulfidation Epithermal

به سمت بالا به ترتيب يكان پروپيليتي، يكان رسي متوسط تا شديد، يكان آلونيتي و سرانجام يكان سيليسي را در پهنه‌هاي وسيع به‌وجود آورده است. به همين دليل، آب‌هاي زيرزميني كه در تماس با زون‌هاي آلتراسيون هيدروترمال قرار دارند، نسبت به پاره‌اي عناصر غني‌شدگي بيش از حد نشان مي‌دهند كه مي‌تواند مسموميت‌زا و كشنده باشد. حضور معادن بي‌شمار فعال و غير فعال كاني‌هاي رسي و خاك‌هاي صنعتي، زاج يا آلونيت و سيليس، ابعاد آلودگي‌هاي زيست‌محيطي را دو چندان كرده است. به‌دليل كمبود منابع آب قابل دسترس در منطقه تارم، از اين نوع آب‌ها براي شرب انسان و دام و آبياري استفاده مي‌شود. در بسياري از روستاها و رستوران‌هاي موجود در مسير قزوين به لوشان، از اين آب‌ها حتي براي مصارف شرب نيز استفاده مي‌شود. اين موضوع مي‌تواند مخاطرات بهداشتي زيادي را در پي داشته باشد. كنترل شبكه بهداشت استان و نظارت مداوم بر اماكن عمومي و توجيه روستاييان و كشاورزان و دامداران منطقه نسبت به آلودگي‌هاي احتمالي آب‌هاي مناطق آلتراسيون مي‌تواند كمك شايان توجهي در كاهش خسارات زيست‌محيطي اين مناطق بنمايد. ازاين‌رو در اين تحقيق به‌منظور تعيين اثر زون‌هاي آلتراسيون بر كيفيت منابع آب زيرزميني و مناطق تحت تأثير اين فرايند در منطقه تارم، از شاخص‌هاي كيفي آب و تجزيه و تحليل آنها با استفاده از آناليزهاي چندمتغيره استفاده شده است.



شكل۲- موقعيت نمونه‌هاي آب برداشت‌شده درنقشه زمين شناسي منطقه

روش تحقيق

براي تعيين تأثير زون‌هاي آلتراسيون بر كيفيت منابع آب، ۳۱ نمونه در ۱۲ محل از منابع آب سطحي و زيرزميني از جمله چشمه‌ها، چاه‌ها، زه‌آب‌ها و آب رودخانه‌ها در ليتولوژي‌هاي مختلف شامل سنگ‌هاي آذرآواري و ولكانيكي به‌شدت دگرسان‌شده، سنگ‌هاي آذرآواري و آتشفشاني سالم به عنوان سنگ مادر آلتراسيون منطقه، گرانيت، رسوبات كواترنر و مارن، نمونه‌برداري شد. مبنا و معيار انتخاب نمونه‌ها، نزديكي و دوري نسبت به زون‌هاي آلتراسيون و ليتولوژي‌هاي دگرسان‌شده و دگرسان‌نشده بود. محل‌هاي نمونه‌برداري شامل ۱- آب در مناطق دگرسان‌نشده با ليتولوژي‌هاي مختلف (سنگ آذرين دروني، مارن، رسوبات كواترنر و سنگ‌هاي آذرآواري فاقد شواهد آلتراسيون)، ۲- آب‌هاي جاري رودخانه‌اي و چاه‌هاي حفر شده در بستر رودخانه‌هاي مناطق دگرسان‌شده، ۳- آب چشمه‌هاي نزديك به مناطق دگرسان‌شده، ٤- آب در مناطق دگرسان‌شده و ۵- آب در مناطق بسيار دگرسان است.

ويژگي‌هاي شيميايي نمونه‌هاي آب زيرزميني و سطحي شامل EC، pH، TDS، TH، كاتيون‌ها و آنيون‌ها به روش‌هاي معمول آزمايشگاهي مورد تجزيه و تحليل قرار گرفتند. عناصر فرعي و نادر شامل Si، Al، Fe، Ca، Mg، Mn، Ti، Ag، Be، Co، Cr، Cu، Cd، Ni، Pb، Mo، Sn، Sr، V و Zn به روش پلاسماي جفت‌شده القايي[1] و عناصر فرعي از قبيل Mo، Cd، Pb، Fe وLi از طريق دستگاه جذب اتمي[2] اندازه‌گيري شدند.

نتايج به‌دست آمده از آناليز شيميايي نمونه‌هاي آب، ابتدا توسط آناليز خوشه‌اي و آناليز تميزي مورد تجزيه و تحليل قرار گرفت و سپس گروه‌هاي به‌دست آمده از آناليز خوشه‌اي در نمودار استيف بررسي و مقايسه شدند.

نتايج

براي طبقه‌بندي نمونه‌هاي آب با توجه به ويژگي‌هاي شيميايي و عنصري از روش آناليز خوشه‌اي استفاده شد(۲). طبقه‌بندي با استفاده از روش آناليز خوشه‌اي بر اساس محاسبه اندازه تشابه يا فاصله بين مشاهدات تحت بررسي است. در اين تحقيق اندازه‌گيري فاصله، مبناي طبقه‌بندي قرار گرفته است. از عمومي‌ترين معيار فاصله به‌كار رفته كه همان فاصله اقليدسي است، استفاده شده است. به‌اين ترتيب بر اساس ميزان تشابه مقادير كاتيون‌ها و آنيون‌ها و عناصر نادر، بعضي از داده‌ها با هم پيوند خورده و در كنار هم در يك گروه جاي مي‌گيرند.

با توجه به‌اين فرض كه تعداد خوشه‌هاي مورد نياز براي گروه‌بندي مشاهدات آب‌هاي زيرزميني منطقه، مشخص نيست از آناليز خوشه‌بندي سلسله مراتبي[3] براي انباشتگي (نسبت دادن) مشاهدات در (به) خوشه‌هاي مختلف، از روش Wards و روش مناسب تعيين فاصله بين مقادير (روش Chebychev) بهره گرفته شد(۲). هر چند در نمونه‌برداري سعي شده نمونه‌هاي آب در مناطق دگرساني و خارج از آن جمع‌آوري شود، ولي در اعماق زمين، آب‌هاي زيرزميني به‌نحوي تحت اثر زون‌هاي وسيع آلتراسيون حتي در مناطق دوردست قرار مي‌گيرند، ضمن اينكه در بخش‌هاي مارني و نهشته‌هاي كواترنر، اجزاي سنگ‌هاي دگرسان‌شده نيز مشاركت دارند و به‌طور غيرمستقيم بر كيفيت آب اين مناطق مؤثرند. با وجود اين طبقه‌بندي خوشه‌اي به‌خوبي تفكيك و گروه‌بندي آب‌هاي مناطق دگرساني و فاقد شواهد دگرساني را نشان داد.

نتايج آناليز خوشه‌اي بر اساس متغيرهاي شيميايي در شكل۳ نشان داده شده است. پنج خوشه در اين نمودار مشاهده مي‌شود. دو گروه A و B با سه گروه C، D و E در ميزان قطر خوشه‌ها كه در بالاي نمودار مشخص است، اختلاف زيادي دارند، كه دليلي بر تفاوت و تمايز اين دو دسته از داده‌هاست. در جدول ۱ ميانگين، حداكثر و حداقل هر گروه نشان داده شده است.

۱- Inductively Coupled Plasma

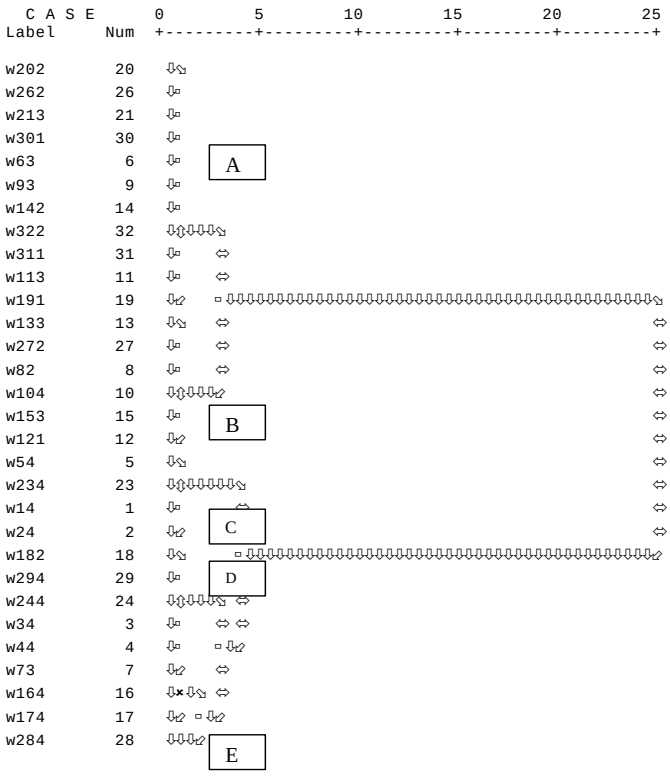
۲- Atomic Absorption

۳- Hierarchical Cluster Analysis

گروه‌هاي A و B با اختلاف قطر حدود ۳ به هم مرتبط مي‌شوند و از اين‌رو نزديكي خاصي را نشان مي‌دهند. اين دسته از آب‌ها شامل آب‌هاي موجود در ليتولوژي‌هاي سالم و دگرسان‌نشده گرانيت، سنگ توف سالم، آب شرب شاهد، آب رودخانه‌هاي جاري در زون‌هاي دگرساني و چشمه‌هاي دور از مناطق آلتراسيون است.

گروه‌هاي C، D و E در دسته دوم قرار دارند كه همان‌گونه‌كه گفته شد، با اختلاف زيادي نسبت به دستة اول (گروه A و B) در نمودار تفكيك شده‌اند. اين دسته از آب‌ها مربوط به آب‌هاي واقع در مناطق آلتراسيون هستند كه جداي از ساير آب‌هاي مناطق دوردست نسبت به زون‌هاي آلتراسيون قرار گرفته‌اند. البته نمونه‌هاي كمي‌از آب‌هاي جاري مناطق دگرساني و چشمه‌هاي همجوار با زون‌هاي آلتراسيون به‌دليل اثربخشي زون‌هاي دگرسان‌شده نيز در اين دسته جاي گرفته‌اند كه نشان از تأثير تماس با اين زون‌ها دارد.

يكي از اثرهاي بارز آلتراسيون هيدروترمال بر كيفيت شيميايي آب، تغييراتي است كه در تيپ و رخسارة آن ايجاد مي‌شود. مقادير ميانگين، حداقل و حداكثر شاخص‌هاي شيميايي گروه‌هاي به‌دست آمده از آناليز خوشه‌اي در جدول(۱) ارائه‌شده است. همان‌گونه‌كه ملاحظه مي‌شود، كليه مقادير كاتيون‌ها و آنيون‌ها بويژه كلسيم و سولفات به‌تدريج از گروه A به سمت گروه E افزايش چشمگير نشان مي‌دهد. اين روند افزايشي با ميزان تأثير زون‌هاي آلتراسيون متناسب است. به‌منظور ارائه ترسيمي تغييرات ياد شده، ميانگين داده‌هاي هر گروه در نمودار استيف به نمايش گذاشته شده است(شكل۴). به‌اين ترتيب، آب شيرين كربناته رشته‌كوه‌هاي گرانيتي و سنگ‌هاي ولكاني‌كلاستيك دگرسان‌نشده و سالم (گروه A) جاي خود را به آب‌هاي شور و ترش و اسيدي در زون‌هاي آلتراسيون (گروهE) مي‌دهند.



شكل ۳- آناليز خوشه‌اي نمونه‌هاي آب بر اساس متغيرهاي شيميايي

در دياگرام استيف، تمركز نسبي يون‌هاي سديم، پتاسيم، كلسيم، منيزيم،كلرايد، بي‌كربنات و سولفات به‌صورت اشكال چند ضلعي براي هر نمونه جداگانه نشان داده مي‌شود. بررسي نمونه‌هاي آب در نمودار استيف به وضوح نشان مي‌دهد كه آب‌هاي مناطق دگرساني اغلب سولفاتة كلسيمي و تا حدودي سولفاته منيزيمي‌اند. ماهيت سولفاته متأثر از زون‌هاي آلتراسيون، حضور آلونيت و بنيان‌هاي SO_4^{-2} آزادشده از تخريب پيريت و آلونيت يا زاج است. دو نمونة مناطق به‌شدت دگرسان‌شده به‌حدي سولفاته‌اند كه با اسيد تفاوت چنداني ندارند.

شكل ۵، نتايج آناليز خوشه‌اي بر اساس متغيرهاي عنصري را در۳ گروه (يكي از گروه ها داراي يك مشاهدة منفرد است) نشان مي‌دهد. گروه A با B اختلاف قطري برابر ۸ دارد، ولي اين دو گروه نسبت به نمونة منفرد W_{225} (آب مربوط به زون به‌شدت دگرسان‌شده) با اختلاف بسيار زياد (قطر حدود ۲۵) قرار دارند كه نشانه وجود اختلاف شديد نمونة آب W_{225} با ساير نمونه‌هاست.گروه A شامل آب‌هاي موجود در ليتولوژي‌هاي سالم و دگرسان‌نشده (گرانيت، سنگ توف سالم، آب شرب شاهد، آب رودخانه‌هاي جاري در زون‌هاي آلتراسيون و چشمه‌هاي دوردست نسبت به مناطق دگرساني) است. گروه B شامل آب‌هاي مناطق دگرساني و گروه C كه شامل يك نمونه است، حاوي نمونة آب منطقة به‌شدت دگرسان‌شده است.

همان‌گونه‌كه ملاحظه مي‌شود، آب‌هاي مناطق دگرساني، علاوه بر ويژگي‌هاي خاص شيميايي، واجد اختلاف رخسارة عنصري نيز هستند، اين مسئله به هوازدگي عميق سنگ‌ها و آزادشدن عناصر از يك‌سو و ورود سيالات حاوي عناصر از منشأ هيدروترمال به محيط‌هاي آلتراسيون از سوي ديگر بستگي دارد.

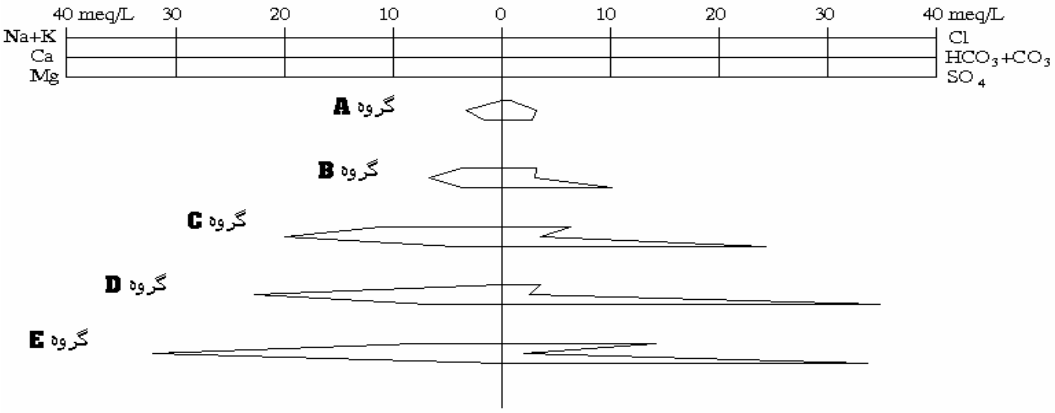
مقايسه نتايج اين آناليز با نتايج حاصل از آناليز با استفاده از شاخص‌هاي شيميايي تقريباً مشابه است و در واقع گروه‌هاي A و B در طبقه‌بندي با استفاده از شاخص‌هاي شيميايي، در طبقه‌بندي با استفاده از متغيرهاي عنصري در يك گروه قرارگرفته‌اند، و سه گروه C، D، و E نيز در اين طبقه‌بندي در گروه دوم جاي گرفته‌اند. نمونه W_{225} مربوط به زون‌هاي به شدت دگرسان‌شده است و با وجود اينكه مورد تجزيه شيميايي قرار گرفت، به دليل رنگي‌بودن، امكان تجزيه كاتيون و آنيون‌ها به روش تيتراسيون ميسر نگرديد و ازاين‌رو نتايج قابل قبولي به‌دست نيامد و قابل ارائه نشد. اين نمونه آب در طبقه‌بندي عنصري، با توجه به ويژگي منحصربه‌فرد، در گروهي مجزا قرار مي‌گيرد. در ضمن براي نمونه‌هاي W_{14}، W_{24}، W_{182}، W_{202}، W_{244}، W_{262} و W_{272} نيز آناليز عنصري صورت نگرفته، در نتيجه در آناليز خوشه‌اي قرار نگرفته‌اند.

نتايج آناليز خوشه‌اي بر اساس متغيرهاي عنصري و شيميايي به طور توام براي نمونه‌هايي كه حاوي كليه شاخص‌هاي شيميايي و عنصري بودند، در شكل ۶ نشان داده شده است. همان‌گونه‌كه ملاحظه مي‌شود، آب‌ها در ٦ گروه و دو دسته متمايز قرار مي‌گيرند. گروه A، B و C با اختلاف قطري حدود ٤ به هم مرتبط مي‌شوند و تشكيل يك دسته را مي‌دهند. اين دسته شامل داده‌هاي مربوط به ساير ليتولوژي‌هاي سالم، آب‌هاي جاري مناطق دگرساني و چشمه‌هاي دوردست نسبت به مناطق دگرساني است. دسته دوم شامل گروه D، E و F است كه متعلق به مناطق دگرساني است. البته آب‌هاي اين دسته هم، بسته به ميزان همجواري با زون‌هاي آلتراسيون و فرصت زماني براي تبادل شيميايي بين آب و سنگ، اختلافاتي را نشان مي‌دهند كه بدين دليل در گروه‌هاي جداي از هم قرار گرفته‌اند.

همان‌گونه‌كه مشاهده شد، آب‌هاي منطقه طرح به لحاظ ويژگي‌هاي عنصري و شيميايي در مناطق آلتراسيون، نسبت به مناطق دور از تأثيرات دگرساني كاملاً متمايز و قابل تفكيك‌اند وآناليز خوشه‌اي بر مبناي خصوصيات شيميايي- عنصري نتايج مشابه با دو طبقه‌بندي قبلي را ارائه مي‌كند.

جدول ۱- ويژگي شيميايي گروه‌هاي مختلف آب گستره طرح بر مبناي نتيجه آناليز خوشه‌اي داده‌هاي آب. واحد كاتيون‌ها و آنيون‌ها / meq L و EC، ميلي‌موس است

	گروه A			گروه B			گروه C			گروه D			گروه E		
	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max
EC	۰/٦۱	۰/۳	۰/۷۸	۱/۵۹	۰/۹۲	۲/۷۸	۳/۱۱	۲/٤٥	٤/۱	۳/٦٦	۲/۹٥	٤/۳	٤/٤۲	۳/۹٦	٤/۹
PH	۷/٦۰	٥/٥۱	۸/٦۳	٦/٦۹	۱/۸٥	۸/۱۷	٦/٤۸	٥/۲۳	۷/٤	۷/۰۷	٥/٦۳	۷/٥۷	٥/٦۰	۱/۸۲	۷/٥٦
CO_3	۰/٤	۰/۰	۱	۰/۳۳	۰/۰	۰/٦	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۱۷	۰/۰	۰/٤	۰/۰	۰/۰	۰/۰
HCO_3	۲/۷۳	۱/۷	٤/٤	۲/۷	۰/۰	٤	۳/٥٥	۰/۰	٦/٦	۲/۳٥	۱	۲/۸	۲/۰۳	۰/۰	۳/٦
Cl	۰/۷٥	۰/۳	۱/۲	۳/۲۳	۰/۰	۱٤/٥	٦/۳٥	۱/۱	۹/۳	۳/٥۳	۱/۲	٥/٦	۱٤/۱۷	٤/٦	۳۲
SO_4	۲/۸٦	۰/۲۹	٥/۰۱	۱۰/۱۹	٥/۸٤	۱٤/۱۲	۲٤/۲٤	۲۰/۲	۳۰/۹٦	۳٤/۷۳	۳۰/۰۱	٤۱/۰٥	۳۳/۷۰	۱۲/۷	٤٦/۱
Ca	۳/۲٥	۱/۸	٥/۷	٦/٦۷	۳/۸	۱۰/۱	۲۰	۱٤/٥	۲٤/٥	۲۲/۷	٦	۳۰/٥	۳۲/۰۷	۳۰	۳٥/۲
Mg	۱/۹٤	۰/٤	۳/۳	۳/٦	۱/۱	٥/٥	٤/۳	۲	۸/٥	۱۱/٦۳	۳	۲۷	۱۰/۰۷	۹/٤	۱۰/۸
Na	۱/٥۷	۰/۲۳	۳/۹۱	٦/۱٦	۱/۹۷	۱۷/۸	۱۰/٦٥	۲/٥	۱٥/۸	٦/٥۰	۲/٥	۹/۰۲	۷/۷٤	٤/۲	۱۰
K	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۱۸	۰/٤۱	۰/۰٦	۰/۷٥	۰/۲٦	۰/۰۸	۰/٤۸	۰/۲۱	۰/۱٦	۰/۲٦
TDS	۳۹۲/۷۳	۱۹٦	٥۲۰	۱۰۰۳/۳۳	٦٦٤	۱٥۹٦	۲۱۹٥	۱۹٥۲	۲٥۸۸	۲۹۳٦	۲۷۱٦	۳۲۱٦	۳۹۲٥/۳۳	۳٤۸۸	٤٥٥۲
TH	۲٥۹/۰۹	۱٥۰	٤۱٥	٥۱۳/۳۳	۲٤٥	٦۳٥	۱۲۱٥	۹۰۰	۱٦٥۰	۱۷۱٦/٦۷	۱٥۷٥	۱۹۰۰	۲۱۰٦/٦۷	۲۰۰۰	۲۳۰۰
لانژلیه	۷/۱۱	٥/۹٥	۹/۰۹	٦/۰۱	۳/۸۳	۱۱/۱٥	۳/۲۳	۲/۸	٤/٤۳	۳/۱٦	۱/۸۳	٥/۱٥	۳/٦۷	۱/٥۹	۷/۷۸



شكل۴- نمودار استيف براي ميانگين گروه‌هاي آناليز خوشه‌اي بر اساس معيارهاي شيميايي نمونه‌هاي آب

بحث و نتيجه‌گيري

بررسي صحت نتايج

با استفاده از آناليز تميزي (۲)، صحت و ارزش گروه‌هاي خوشه‌اي ارائه‌شده از طريق آناليز خوشه‌اي وگروه‌هاي تعيين شده در طبقه‌بندي‌هاي مرسوم شيميايي پايپر، استيف، شولر و ويلكوكس مورد آزمون قرار گرفت (۴). با انتخاب متغيرهاي شيميايي، عنصري و يا تلفيقي از هر دو به عنوان متغير مستقل، وضعيت مشاهدات نسبت به گروه‌بندي از پيش تعيين‌شده مشخص گرديد. در بخش نحوه تخصيص احتمال‌هاي پيشين به گروه‌ها، اندازه گروه‌ها[1] در نظر گرفته‌شده، به‌نحوي كه به گروه‌ها، وزني متناسب با تعداد مشاهدات نسبت داده مي‌شود و سپس با استفاده از ماتريس كوواريانس داخل گروه‌ها[2]، صحت طبقه‌بندي، در دو حالت گروه‌بندي اوليه[3] و گروه‌بندي متقابل[4] محاسبه شد كه نتايج آن در جدول (۶) ارائه‌شده است. همان‌گونه‌كه در جدول (۶) ملاحظه مي‌شود، حتي

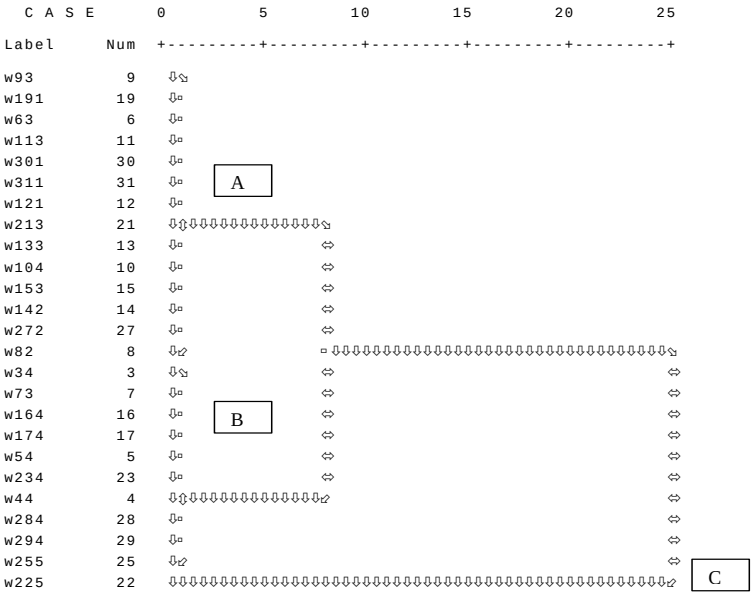
۱- Group Sizes

۲-Within Group Covariance

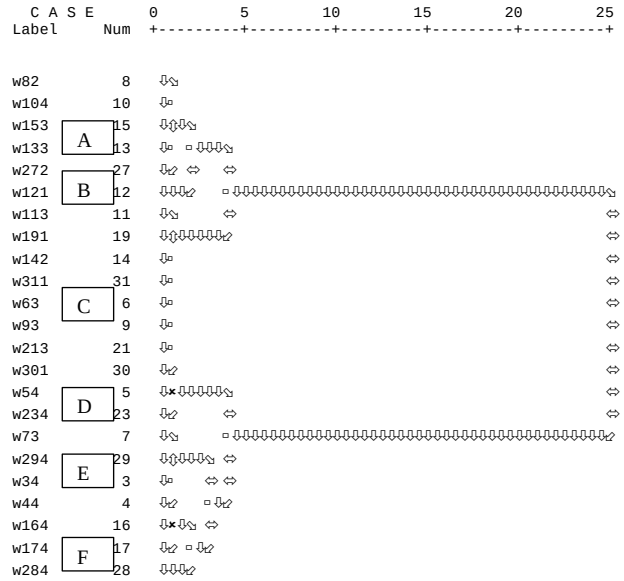
۳- Original Grouped Cases

۴- Cross Validated Grouped Cases

طبقه‌بندي‌هـاي معمـول از جملـه پـايپر، اسـتيف، شـولر و ويلكوكس نيز مي‌توانند در طبقه‌بندي‌هاي اوليـه آب مفيـد فايده و قابل استناد باشند.



شكل ۵ - آناليز خوشه‌اي داده‌هاي آب بر اساس متغيرهاي عنصري



شكل ۶- آناليز خوشه‌اي نمونه‌هاي آب بر اساس متغيرهاي شيميايي و عنصري

نكته قابل‌ذكر اينكه صحت طبقه‌بندي آب‌هاي منطقه بر اساس متغيرهاي شيميايي توأم با عنصري با تقليل گروه‌ها (به دليل شباهت نزديك ميان گروه‌هاي موجود در نمودار شكل ۶ از ٦ گروه به گروه٤)، صحت طبقه‌بندي افزايش مي‌يابد.

در طبقه‌بندي متقابل، هر نمونه آب، به‌عنوان تابعي نسبت به همه نمونه‌ها در نظر گرفته مي‌شود و به‌اين ترتيب، كل نمونه‌ها توسط توابع يادشده، طبقه‌بندي و صحت گروه‌هاي از پيش تعيين شده مورد آزمون قرار مي‌گيرد. هر يك از گروه‌هاي خوشه‌اي شيميايي A تا E در شكل ۳ و گروه‌هاي "شيميايي- عنصري" A تا F در شكل ۶، يك مركز ثقل دارند و موقعيت مركز ثقل در فضاي n بعدي برابر مقدار متوسط نمره يا وزن هر نمونه در گروه خوشه‌اي است، به‌طوري‌كه مقادير مركز ثقل براي تعيين تفاوت معني‌دار بودن موجود بين گروه‌ها استفاده شده است. محاسبات انجام‌شده در اين زمينه نشان مي‌دهد كه در گروه‌بندي شيميايي و "شيميايي- عنصري" به ترتيب ۹۹/۱ و ۹۸/۹ درصد تفاوت بين گروه‌ها توسط اولين و دومين تابع متمايزكننده تعيين شده است (جدول‌هاي ۲ و ۳). اين در حالي است كه توابع بعدي درصد كمي را مشخص مي‌كنند، كه‌اين توابع با توجه به آزمون wilks lambda و مربع كاي، در سطح موردنظر معني‌دار نيستند، ازاين‌رو هر يك از نمونه‌هاي آب مي‌توانند با اولين و دومين تابع متمايزكننده از طريق نمره‌هايشان روي توابع، ارتباط داشته باشند. ضرايب توابع متمايزكننده كانوني استاندارد شده در مورد گروه‌هاي آب، در جدول‌هاي ۴ و ۵ ارائه شده است. در اشكال ۷ و ۸ اين مقادير ترسيم شده‌اند و هر گروه با استفاده از روش تجزيه و تحليل خوشه‌اي توسط خطي احاطه‌كننده مشخص و از طريق تجزيه و تحليل متمايزكننده، تفاوت معني‌دار بودن آن‌ها با يكديگر تعيين شده است. بررسي مذكور نشان داد كه گروه‌هاي تعيين شده با توجه به همبستگي كانوني[1] و مربع كاي، داراي قابليت تفكيك مناسب از يكديگرند، به‌طوري‌كه هيچ‌گونه همپوشاني نيز با هم ندارند و خوشه‌هاي جداگانه تشكيل مي‌دهند (اشكال ۷ و ۸).

بررسي تغييرات كيفي در گروه‌هاي مختلف آب

همان‌گونه‌كه گفته شد، بر اساس آناليز خوشه‌اي، نمونه‌هاي آب از نظر ويژگي‌هاي شيميايي به ۵ گروه و از نظر ويژگي‌هاي عنصري به ۳ گروه تفكيك مي‌شوند، كه مشخصات هر يك به تفصيل بيان شده است (جدول ۱ و شكل‌هاي ۳، ۵ ، ۶ و ۷). متوسط هر فاكتور شيميايي در هر گروه محاسبه و در نمودار تغييرات كيفي نشان داده شده است (شكل۴). همان‌گونه‌كه ملاحظه مي‌شود، تمركز تركيبات شيميايي از گروه A به سمت گروه E بتدريج افزايش چشمگير نشان مي‌دهد كه در حقيقت نشانه تأثير زون‌هاي آلتراسيون بر تمركز تركيبات ياد شده است. آب‌هاي مناطق دگرساني داراي درجه سختي و مواد جامد حل‌شده (TDS) بالايي نسبت به آب‌هاي مناطق دگرسان‌نشده‌اند. در نمودار شكل‌هاي ۹ و۱۰ اثر زون‌هاي آلتراسيون برتمركز و افزايش شديد مقادير عناصر فلزي خطرناك به خوبي مشهود است، به نحوي كه آب‌هاي مناطق آلوده، نسبت به مقادير استاندارد ملي و بين‌المللي براي شرب، فاصله زيادي را نشان مي‌دهد (شكل ۹).

۱ -Canonical Correlation

جدول ۲- توابع متمايز كننده گروه‌هاي آب منطقه تارم بر اساس فاكتورهاي شيميايي

ريشه پنهان ماتريس همبستگي (Eigenvalues)				
همبستگي كانوني	درصد تجمعي	درصدنسبي (Variance %)	Eigenvalue	تابع تفكيك
۰/۹۹۸	۹۷/۰	۹۷/۰	۲۵۵/۶۴۹	۱
۰/۹۲۱	۹۹/۱	۲/۱	۵/۶۲۶	۲
۰/۷۸۰	۹۹/۷	۰/۶	۱/۵۵۴	۳
۰/۶۶۹	۱۰۰/۰	۰/۳	۰/۸۱۰	۴
تابع Wilks Lambda				
سطح معني‌دار بودن Sig.	درجه آزادي df	مربع كاي	Wilks Lambda	آزمايش تابع تفكيك
۰/۰۰۰	۴۸	۱۸۳/۸۷۵	۰/۰۰۰	۱
۰/۰۰۰	۳۳	۷۰/۱۴۷	۰/۰۳۳	۲
۰/۰۵۰	۲۰	۳۱/۳۸۰	۰/۲۱۶	۳
۰/۲۰۵	۹	۱۲/۱۵۸	۰/۵۵۳	۴

جدول ۳- توابع متمايز كننده گروه‌هاي آب منطقه تارم بر اساس فاكتورهاي شيميايي و عنصري

ريشه پنهان ماتريس همبستگي (Eigenvalues)				
همبستگي كانوني	درصد تجمعي	درصدنسبي (Variance %)	Eigenvalue	تابع تفكيك
۰/۹۹۸	۹۵/۸	۹۵/۸	۲۳۳/۲۲۴	۱
۰/۹۳۹	۹۸/۹	۳/۱	۷/۴۸۶	۲
۰/۷۶۱	۹۹/۵	۰/۶	۱/۳۸۰	۳
۰/۷۰۱	۹۹/۹	۰/۴	۰/۹۶۹	۴
۰/۵۰۶	۱۰۰/۰	۰/۱	۰/۳۴۴	۵
تابع Wilks Lambda				
سطح معني‌دار بودن Sig.	درجه آزادي df	مربع كاي	Wilks Lambda	آزمايش تابع تفكيك
۰/۰۰۰	۵۰	۱۱۳/۲۲۱	۰/۰۰۰	۱
۰/۰۹۱	۳۶	۴۷/۷۴۶	۰/۰۱۹	۲
۰/۵۷۴	۲۴	۲۲/۰۸۵	۰/۱۵۹	۳
۰/۶۳۲	۱۴	۱۱/۶۷۹	۰/۳۷۸	۴
۰/۷۳۷	۶	۳/۵۵۱	۰/۷۴۴	۵

جدول ۴- ضرايب توابع متمايزكننده كانوني استانداردشده در مورد گروه‌هاي آب به‌دست آمده از فاكتورهاي شيميايي

فاكتورهاي شيميايي	تابع			
	۱	۲	۳	۴
EC	-۳/۳۰۳	-۰/۰۸۴	-۰/۷۶۱	-۲/۶۹۰
pH	۱/۹۶۵	۳/۳۳۸	۲/۶۶۷	۰/۴۲۱
CO_3	-۰/۴۱۳	۰/۲۱۳	-۰/۱۰۱	۰/۱۶۲
HCO_3	-۰/۵۴۷	۱/۴۰۸	-۰/۶۷۱	-۰/۱۱۹
Cl	-۰/۲۸۰	۵/۰۲۳	-۶/۳۰۵	۱/۰۱۵
SO_4	۱/۷۹۱	۵/۰۴۷	-۸/۱۵۳	۱/۸۵۳
Ca	۲/۰۳۱	-۱/۵۷۵	۸/۷۷۳	-۰/۱۵۹
Mg	۱/۲۸۶	-۱/۷۳۲	۶/۰۸۱	۰/۵۰۶
Na	۰/۳۱۴	-۳/۱۷۵	۵/۸۶۰	-۰/۰۹۲
K	۱/۶۷۰	-۰/۶۵۵	۰/۹۱۸	۱/۰۳۵
TDS	۲/۹۷۴	-۰/۳۹۰	-۰/۲۶۱	۰/۳۹۱
ضريب لانژليه	۰/۹۲۷	۳/۶۷۱	۳/۵۸۴	-۰/۶۶۲

جدول ۵- ضرايب توابع متمايزكننده كانوني استانداردشده در مورد گروه‌هاي آب به‌دست آمده از فاكتورهاي شيميايي و عنصري

فاكتورهاي شيميايي و عنصري	تابع				
	۱	۲	۳	۴	۵
Mg^a	-۱/۳۸۳	۰/۴۸۹	۱/۳۵۰	-۰/۰۳۹	-۰/۸۲۳
Mn^a	۰/۹۸۸	-۱/۱۸۴	-۰/۸۶۴	۰/۰۹۸	-۰/۴۶۲
Mo^a	۰/۳۸۳	-۰/۸۲۹	-۰/۱۰۷	-۰/۰۱۲	۰/۰۷۸
CO_3^b	-۰/۲۸۳	۰/۶۷۷	-۰/۴۷۹	-۰/۳۶۴	۰/۷۴۳
HCO_3^b	-۰/۹۲۷	۱/۵۴۹	-۰/۴۵۵	۰/۷۰۱	۰/۲۷۸
SO_4^b	۰/۸۹۹	۱/۰۳۸	-۰/۳۲۵	-۰/۳۹۲	-۱/۱۰۳
Ca^b	۰/۴۴۷	-۰/۸۰۴	۰/۹۶۷	۰/۵۵۱	۲/۴۱۶
Mg^b	۰/۳۰۳	-۱/۲۸۳	۱/۵۵۰	-۰/۴۷۶	۱/۷۵۰
TDS	۱/۹۳۴	۰/۶۹۰	-۰/۹۹۴	۰/۱۰۴	-۰/۳۲۰
ضريب لانژليه	-۱/۵۱۱	۲/۵۷۹	-۰/۰۲۴	۰/۷۶۸	۱/۰۹۱

a : عناصر اندازه‌گيري شده به روش ICP b : كاتيون‌هاي اندازه‌گيري شده به روش تيتراسيون

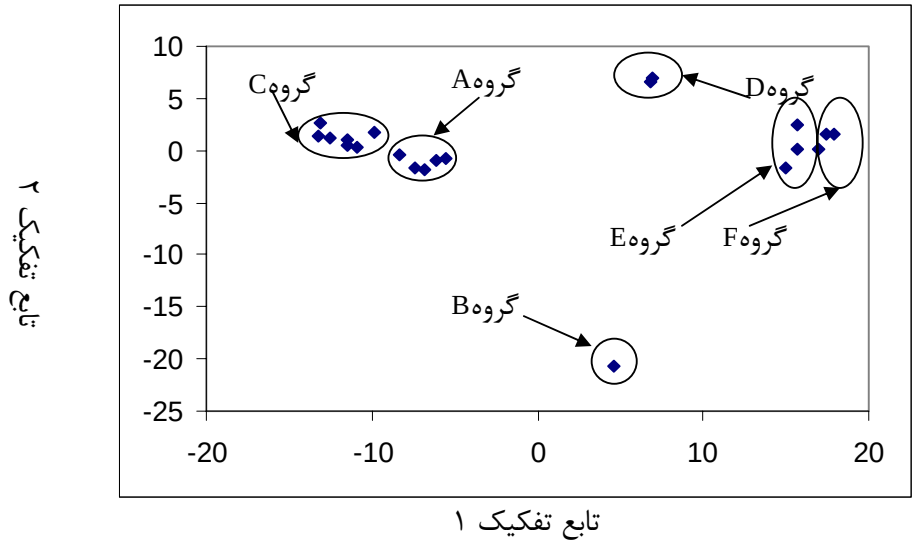
جدول ۶- نتايج آناليز تميزي براي صحت طبقه‌بندي آب‌هاي منطقه به روش‌هاي مختلف

روش طبقه‌بندي	گروه‌هاي از پيش‌تعيين‌شده	صحت گروه‌بندي اوليه	صحت گروه‌بندي متقابل
نمودار پايپر و استيف	۵ گروه [الف]	۸۷/۵	۶۲/۵
نمودار شولر	۵ گروه [ب]	۸۴/۴	۶۵/۶
نمودار ويلكوكس	۵گروه [ج]	۹۰/۶	۶۸/۸
آناليزخوشه‌اي(شاخص‌هاي شيميايي)، شكل (۳)	۵ گروه	۱۰۰	۸۳/۳
آناليزخوشه‌اي(شاخص‌هاي عنصري)، شكل (۵)	۳ گروه	۱۰۰	۹۲
آناليزخوشه‌اي(شيميايي-عنصري)، شكل(۶)	۶ گروه: **A** تا **F**	۱۰۰	۱۹
آناليزخوشه‌اي(شيميايي-عنصري)، شكل(۶)	۴ گروه شامل۱: (**A** و **B**) ۲:**C** ، ۳ : **D** ، ۴ : (**E** و **F**)	۱۰۰	۵۶/۵

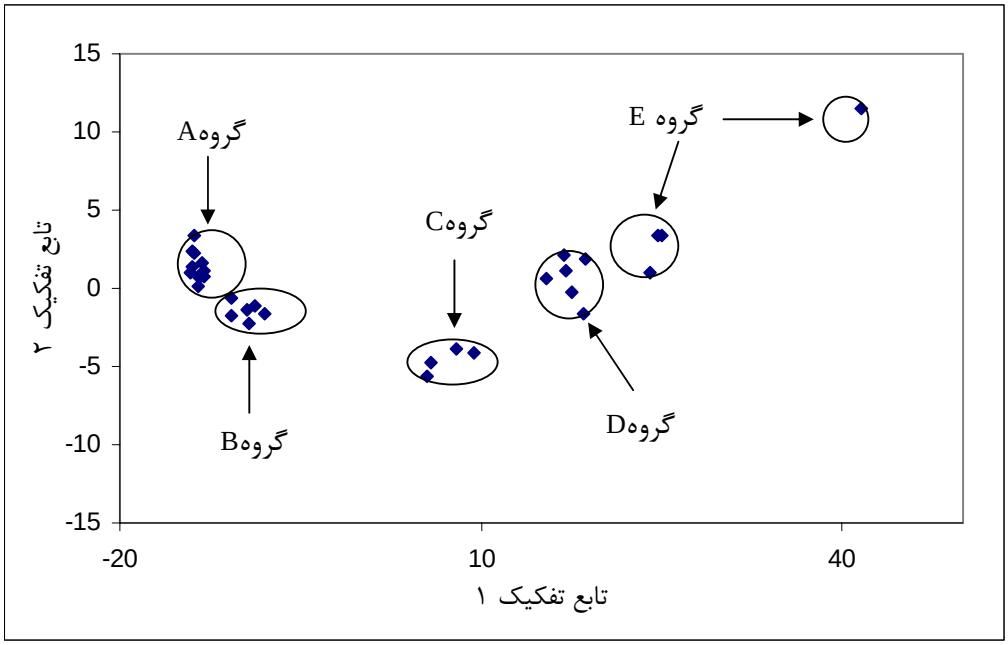
الف- گروه‌ها در طبقه‌بندي پايپر و استيف: ۱: بيكربناته، ۲: سولفاته كلسيمي‌ومنيزيمي، ۳: سولفاته سديمي، ۴: كلروره، ۵: سولفاته شديد

ب- گروه‌ها در طبقه‌بندي شولر:۱: خوب، ۲: خوب تا قابل استفاده، ۳: نامطلوب، ۴: غيرقابل استفاده، ۵: مضر براي شرب

ج- گروه‌ها در طبقه‌بندي ويلكوكس:۱: C_2S_1، ۲: C_3S_1، ۳: C_4S_1،۴: C_4S_2 و ۵: خارج از محدوده C_4S_2 و بي‌نهايت مضر براي آبياري و زراعت



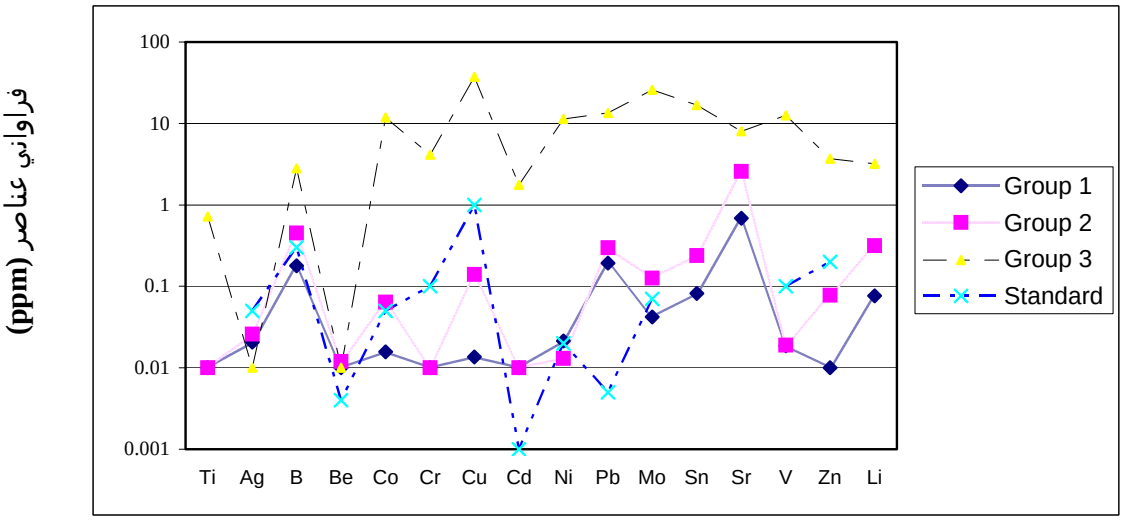
شكل۷- بررسي توابع متمايزكننده براي گروه‌هاي A تا F بر اساس نمودار خوشه‌اي آب با متغيرهاي شيميايي و عنصري



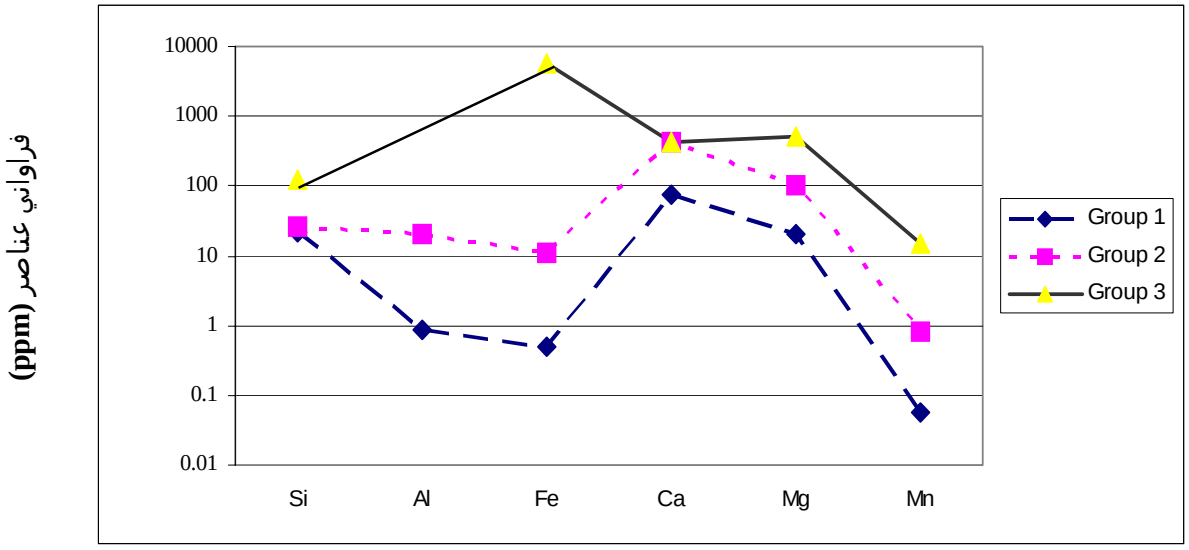
شكل۸- بررسي توابع متمايزكننده براي گروه‌هاي A تا E بر اساس نمودار خوشه‌اي آب با متغيرهاي شيميايي

با توجه به‌اين‌كه فرايند آلتراسيون با تخريب شبكه كاني‌هاي اوليه سنگ و تبديل آن به مجموعه كاني‌هاي ثانوي و رسي همراه است، رهاشدن عناصر و تسريع واكنش بين آب و سنگ را به همراه دارد. ضمن اينكه سيالات هيدروترمال از اعماق زمين نيز با خود مواد فرار و عناصر فلزي حمل و به محيط آلتراسيون وارد مي‌كنند.

در اثر فرايند التراسيون هيدروترمال بسته به تركيب شيميايي سيال و سنگ مادر، واكنش‌هاي ژئوشيميايي خاصي رخ مي‌دهد كه سبب غني‌شدگي يا تهي‌شدگي پاره‌اي عناصر در سنگ مادر مي‌شود. آب‌هاي زيرزميني كه در تماس با زون‌هاي آلتراسيون هيدروترمال قرار دارند، نسبت به پاره‌اي عناصر، غني‌شدگي بيش از حد نشان مي‌دهند كه مي‌تواند مسموميت‌زا و كشنده باشد. روش‌هاي آماري شامل آناليز خوشه‌اي و تميزي مي‌تواند در تشخيص و تفكيك آب‌هاي با كيفيت و منشأ مختلف، كمك شايان توجهي بنمايد. تجزيه و تحليل خوشه‌اي، خلاصه‌اي از مشابهت‌ها را بر اساس متغيرهاي اندازه‌گيري شده از تمام نمونه‌ها تهيه و بيان مي‌كند. استفاده از آناليزهاي چندمتغيره شامل آناليز خوشه‌اي و تميزي نشان داد كه با بهره‌گيري از اين روش‌ها مي‌توان تعداد زيادي نمونه را بر مبناي متغيرهاي شيميايي و عنصري طبقه‌بندي كرد كه با استفاده از نمودارهاي متداول امكان‌پذير نمي‌باشد. ويژگي‌هاي شيميايي هر گروه را نيز مي‌توان با نمودارهاي ترسيمي متداول نظير استيف، شولر و ويلكوكس مورد تجزيه و تحليل قرار داد. نتايج نشان داد كه آب‌هاي مناطق دگرساني تيپ سولفاته دارند، از نظر طعم ترش و واجد TH و TDS بالا، بسيار نامناسب براي كشاورزي و غيرقابل شرب‌اند و از نظر ويژگي‌هاي شيميايي و عنصري كاملاً نسبت به آب‌هاي مناطق دگرسان‌نشده متفاوت و متمايزند.



شكل۹- الگوي تغييرات عنصري درگروه‌هاي مختلف آب (گروه ۱ تا ۳ معادل گروه **A** تا **C** در شكل (۵) است) نسبت به هم و نسبت به مقادير استاندارد عناصر در آب شرب. گروه ۳ مربوط به زون‌هاي آلتراسيون است. ارقام لگاريتمي‌است



شكل ۱۰- الگوي تغييرات عنصري گروه‌هاي مختلف آب (گروه ۱ تا ۳ معادل گروه **A** تا **C** در شكل (۵) است) نسبت به همديگر. گروه ۳ مربوط به زون‌هاي آلتراسيون است. ارقام لگاريتمي‌است

تقدير و تشكر

بدين‌وسيله از مسئولان محترم پژوهشكده حفاظت خاك و آبخيزداري بويژه بخش حفاظت خاك آن پژوهشكده كه زمينه انجام اين فعاليت تحقيقاتي را فراهم ساختند، تشكر و قدرداني مي‌شود. همچنين از مهندس علي جعفري اردكاني كه در كليه مراحل كارهاي صحرايي ما را ياري كردند، سپاسگزاري مي‌شود.

منابع

1-Anzawa, K. & H. Ohmori .2001. Chemistry of surface water at a volcanic summit area, Norikura, central Japan: Multivariate statistical approach. Chemosphere, No. 45, pp 807-817.

2-Davis, John C., 1986. Statistics and data analysis in geology, Second edition, John Wiley & Sons,.646pp.

3-Djafarov, I.S., 1989. Quantitative techniques for prediction of local oil and gas, Journal of mathematical geology, Vol.21, pp.631-638.

4-Freeze, R.A. & J.A. Cherry, 1979. Groundwater, Prentice-Hall, Inc., Englewood cliffs, N.J.07632,604pp.

5- Ghayoumian, J., 1994. Evaluation of site and geomaterials against hazard using multivariate analysis, ph.D dissertation, kumamoto university, Japan.

6- Ghayoumian, J. & S. Nakajima,1994. Implementation of multivariate analysis in hydrochemical study and estimation of leakage path in a rock fill dam, Bulletin of the faculty of engineering , kumomato university, Japan, Vol.39, No. 1.

7-Lawrence, F.W. & S.B. Upchurch, 1982.. Identification of recharge area using geochemical factor analysis, Groundwater, Vol.20, No.6, pp.680-687.

8- Malomo, S., M.A. Oloruniwo & O. Ogunsanwo, 1982 . Geological mapping in terrains of tropical weathering an example from Abuja-Nigeria., Engineering geology, Vol.19, pp.133-148.

9-Melloul, A. & M. Collin, 1992. The Principle components, statistical method as a complementary approach to geochemical methods in water quality factor identification application to the coastal plain aquifer of Palestine. Journal of Hydrology.140.pp49-73.

10- Miesch, A.T., C.T. Chao, & F. Cuttitta,1966. Multivariate analysis of geochemical data on Tektites . Journal of geology, Vol.74, No.5, pp.673-702.

11-Reghunath, R., T.R. Sreedhara Murthy, & B.R. Raghavan, 2002. The utility of multivariate statistical techniques in hydrogeochemical studies: an example from Karnataka, India. Water Research, No.36, pp 2437-2442.

12-Riley, J. & R. Kirk, 1990.Statitical analysis of the hydrochemistry of ground waters in Columbia river basalts. Journal of Hydrology, 119, 245-262.

13- Romanova, M.A., 1991. Influence of Precambrian basement on the chemical composition of Mesozoic granitoid rocks in northeastern Asia. Mathematical geology , Vol.23, No.7, pp.959-979.

14- Shivkumar, K. & G.Biksham, 1995. Statistical approach for the assessment of water pollution around industrial areas, a case study from Patancheru, Medak district, India, Journal of environmental monitoring assessment. Vol. 36, No.3, pp: 229.

An Evaluation of Groundwater Quality in Alteration Zones of Tarom Range, Zanjan, Using Multivariate Analysis

H.R. Peyrowan[1] J. Ghayoumian[2] Z. Shoaei[3]

Abstract

Geological, mining, agricultural and industrial activities may be the origins of introducing toxic materials into the ecosystem. If traces of toxic elements are introduced three times the permitted doze into human's body through geochemical circulation, it can be hazardous in the long run. In this research, the adverse effects of alteration zones on groundwater quality have been investigated in Tarom Range, Iran. Surface and groundwater water samples (from alteration zones and various as well as from rock types were taken from the study area. The samples were analyzed for pH, TDS, main cations and anions, as well as for trace elements. The hydro geochemical data were also analyzed using multivariate analysis of cluster and discriminate analyses. The results indicate that the naturally contaminated water can be separated from fresh water using multivariate analysis. The water quality groups resulting from multivariate analysis were evaluated using Stiff, Piper and Wilcox diagrams. Such quality water bears a sour taste; it is dangerous and particularly very dangerous if used for drinking; it as well as seriously harmful to plants if used for irrigation.

Keywords: Alteration zone, Hydro geochemistry, Multivariate analysis, Cluster analysis, Discriminate analysis, Water quality, Tarom Range.

1- Staff Member, Soil Conservation & Watershed Management Research Institute, (E-Mail: Payrowan@scwmri.ac.ir)
2- Ass. Prof., Soil Conservation & Watershed Management Research Institute
3- Associat,Prof., Soil Conservation & Watershed Management Research Institute