

ارزیابی تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت لنجان با استفاده از تحلیل عاملی ترکیب شده با نظریه انتروپی اطلاعات

محسن رضایی^۱، وهاب امیری^{۲*}

mohsen71454@yahoo.com

۱-دکترای هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی

۲-دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۱ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۶

چکیده

در این مطالعه به ارزیابی منشأ تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت لنجان در استان اصفهان پرداخته شده است. از نتایج تجزیه و تحلیل یون‌های اصلی و ۱۱ گونه فلزی در ۱۵۵ نمونه آب استفاده شده است. در تحلیل کیفی روشهای تجزیه و تحلیل چند متغیره، زمین آمار در کنار تئوری انتروپی استفاده شده است. خوشه‌بندی داده‌ها و مشخصه‌ها و همچنین تجزیه و تحلیل‌های چندمتغیره با استفاده از ۱۴ مشخصه انتخابی که دارای همبستگی قوی تا متوسط بودند صورت گرفت. بررسی همبستگی مشخصه‌های مختلف کیفی نشان می‌دهد که بیشترین تأثیرپذیری هدایت الکتریکی از کلسیم، سدیم و سولفات است. نتایج نشان می‌دهد که ۷۰/۷ درصد از تغییرات کیفی آب زیرزمینی تحت تأثیر سه عامل اصلی است. تغییرات همزمان و نوسان‌های مشابه وزن عامل ۱ (با ۳۹/۲ درصد تغییرات بار عاملی) با مقدار انتروپی فلزات سنگین نشان از اهمیت این عامل در تعیین غلظت این عناصر دارد. این عامل منشأ انسان‌زاد و خارج از محیط طبیعی و تشکیلات زمین‌شناسی موجود در منطقه دارد. همبستگی منفی قوی بین وزن عامل و مقدار انتروپی فلزات سنگین نشان می‌دهد که منشأ ورود و تغییرات مشخصه‌های عامل‌های ۲ (با ۲۲/۴ درصد تغییرات بار عاملی) و ۳ (با ۹/۱ درصد تغییرات بار عاملی) عوامل طبیعی بوده و فعالیت‌های انسانی کمترین تأثیر را در این مورد دارد. به دلیل ماهیت طبیعی تغییرات مشخصه‌های تعریف شده در عامل‌های ۲ و ۳، نمونه‌های آبی که دارای مقادیر بالای این مشخصه‌ها هستند بسیار ناپایدار بوده و تغییرات و نوسان‌های زیادی را نشان می‌دهند.

کلیدواژه

تغییرات کیفی، تحلیل عاملی، تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، نظریه انتروپی اطلاعات

سرآغاز

آب هستند (Cruz & Silva, 2000). آیوپا و همکاران، آب زیرزمینی منطقه اتنا در ایتالیا را مورد ارزیابی قرار دادند و عوامل اصلی آلودگی در این منطقه را نشت از سنگ مادر بازالتی، شورابه‌های ناشی از پی‌سنگ رسوبی موجود در منطقه و فاضلابهای شهری و کشاورزی تعیین کردند (Aiuppa, et al., 2003). آدامز و همکاران با استفاده از تحلیل عاملی برای ارزیابی آب زیرزمینی در ارتباط با محیط زیست نشان دادند که فرایند شور شدن، رسوب و انحلال کانی‌ها، تبادل یونی و فعالیت بشری از جمله فرایندهای اصلی تأثیرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی است (Adams, et al., 2001). کیم و همکاران با گروه‌بندی آبهای زیرزمینی کم عمق مناطق ساحلی شهر کیمجه در کره به ۴ گروه، تداخل آب شور دریا، کودهای شیمیایی و فرایندهای احیایی را موجب تغییر ترکیب فیزیکوشیمیایی آب زیرزمینی دانستند (Kim, et al., 2003). لاو و

خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب مورد نیاز زندگی بشر، عاملی مهم در تعیین کاربری آن برای مصارفی همچون کشاورزی، شرب و صنعت است. بررسی تغییرات هیدروشیمیایی منابع آب زیرزمینی با ابزارها و روشهای مختلفی صورت می‌گیرد که در مطالعات متعدد اخیر استفاده از روشهای تحلیل آماری چندمتغیره همچون ضریب همبستگی، آمار توصیفی، تحلیل عاملی^۱ و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای^۲ بویژه در شناخت منشأ آلودگی محلی مورد توجه بوده است (Edet, et al., 2011). (Ogunribido & Kehinde, 2011. ,Adevale, 2011. ,Hajalilou & Khaleghi, 2009. کروز و سیلوا با بررسی داده‌های آب زیرزمینی در منطقه پیکو ایلند پرتغال نشان دادند که انحلال کانی‌های سیلیکاته و شوری آب عوامل اصلی تغییر ترکیب

درجه و ۱ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۷ طول شرقی واقع است و ۱۱۷۰ کیلومترمربع از دشت لنجانان را شامل می‌شود. نهشته‌های موجود در زیرحوضه لنجانان مربوط به دوره‌های پرمین تا عهد حاضر است. شیل‌های ژوراسیک و سنگ آهک ضخیم لایه کرتاسه پایین مهم‌ترین رخنمون‌های ارتفاعات دشت است. در بین نهشته‌های آبرفتی این دشت رسوبات تبخیری به صورت لایه‌ها و بلورهای گچی و نمکی گسترش دارد. در این دشت، نیاز آبی صنایع و عمده نیاز آب شرب از رودخانه زاینده‌رود و نیاز آبی کشاورزی (به جز اراضی زیر کشت در سواحل رودخانه) و دامداری منطقه از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. پساب‌های صنعتی حاصل از صنایع ذوب آهن و فولاد و همچنین ورود مواد شیمیایی فعال به صورت خام و نیمه تصفیه شده به حوضچه‌های تبخیری، افزون بر نفوذ به آبخوان، برای آبیاری فضای سبز صنایع و نیز اراضی کشاورزی پایین دست مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مواد و روش بررسی

در این مطالعه از ۱۵۵ مورد نمونه‌برداری انجام شده در سال آبی ۸۷-۸۸ که ۱۰ مشخصه کیفی اصلی شامل کلسیم (Ca)، سدیم (Na)، پتاسیم (K)، منیزیم (Mg)، بیکربنات (HCO_3)، کلور (Cl)، فلئور (F)، نیترات (NO_3)، سولفات (SO_4) و هدایت الکتریکی (EC) و ۱۱ گونه فلزی موجود در آب زیرزمینی این منطقه شامل آرسنیک (As)، باریم (Ba)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، مس (Cu)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، نیکل (Ni)، سرب (Pb)، آنتیموان (Sb) و سزیم (Se) اندازه‌گیری شده؛ استفاده شده است. بررسی‌های آماری این پژوهش با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS 17، XLSTAT 2012 و GS+ و نقشه‌ها نیز با بهره‌گیری از نرم‌افزار Arc GIS 10 تهیه شد.

به منظور این تفسیر و استخراج نتایج از داده‌های ذکر شده، این مطالعه در قالب سه مرحله که به ترتیب شامل تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، تحلیل عاملی و تئوری انتروپی اطلاعات است، انجام شد. تجزیه و تحلیل خوشه‌ای روشی تشخیصی است که تمام موارد و نمونه‌ها را بر اساس شباهت‌های بین یک گروه و عدم شباهت‌های بین گروه‌های مختلف، به گروه‌ها یا خوشه‌های کوچکتر تقسیم می‌کند. بنابراین، میزان هماهنگی و تشابه بین نمونه‌های موجود در یک گروه زیاد بوده و این در حالی است که میزان این تشابه بین گروه‌های مختلف کمترین مقدار است. در این مطالعه، به منظور

همکاران از تحلیل عاملی به منظور اثبات ارتباط تغییرات کیفی آب زیرزمینی در اطراف یک معدن آهن و طرح دفع فاضلاب در افریقای جنوبی با فعالیت‌های کشاورزی و معدنی بهره گرفتند (Love, et al., 2004). در تحقیقات فراوانی ادغام تحلیل عاملی و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای در تفسیر تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی سودمند بوده است. (De Andrade, et al., 2008).

مقادیر غلظت‌های گزارش و استفاده شده که برای ارزیابی آماری چندمتغیره نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد بر پایه نمونه‌های منفرد، یا آمار به دست آمده از چاه‌های مونیتورینگ است و می‌توان عدم قطعیت را در اطلاعات مورد نظر مشاهده کرد، نتایج به دست آمده فقط خصوصیات کیفی آب زیرزمینی در محدوده زمانی خاص مورد نظر ما را نشان می‌دهد. شانون^۳ از نظریه انتروپی اطلاعات^۴ که امروزه در بسیاری از زمینه‌های مطالعاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد به عنوان ابزاری برای تعیین میزان عدم قطعیت یاد می‌کند (Shyu, et al., 2011). با وجودی که از نظریه انتروپی برای ارزیابی عدم قطعیت متغیرهای هیدرولوژیکی و مشخصه‌های مدل‌های سیستم‌های منابع آب استفاده می‌شود ولی در تمام این مطالعات نمی‌توان کاربرد وسیع این نظریه را در توصیف و ارزیابی کامل خصوصیات کیفی آب زیرزمینی در مناطق بزرگ مقیاس مشاهده کرد (Singh, et al., 1997). از نظریه انتروپی و بحث پیرامون عدم قطعیت اطلاعات کمی و کیفی می‌توان برای حل مسائل مدیریتی در حوزه‌های زیست محیطی و منابع آبی استفاده کرد (Mogheir, et al., 2006). دشت لنجانان در جنوب غرب استان اصفهان قرار دارد. آبهای برگشتی مصرفی با توجه به استفاده فراوان انواع کودهای شیمیایی در زمین‌های کشاورزی، فعالیت مراکز صنعتی متعدد و فاضلاب تولیدی مناطق مسکونی، کیفیت آبهای زیرزمینی در این دشت را سخت تحت تأثیر قرار می‌دهند. بر این اساس تلاش شده است که در این دشت توانایی تجزیه و تحلیل خوشه‌ای و GIS در تفسیر پراکندگی مکانی خوشه‌ها، توانایی ترکیب تحلیل عاملی و زمین آمار در تفسیر و تهیه نقشه عوامل تأثیرگذار کیفی و توانایی تئوری انتروپی در تحلیل پایداری عوامل تأثیرگذار کیفی مورد ارزیابی قرار گیرد.

معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد بررسی در جنوب غرب استان اصفهان، در فاصله ۳۲ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۱

جدول شماره (۱): خلاصه آماری داده‌های مورد استفاده (واحدها ppm است به جز EC که $\mu\text{s/cm}$ است.)

مشخصه	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	کشفی	چولگی
Ca	۷/۵	۱۰۸۰	۲۷۲/۶	۲۱۱/۲۳	۱/۶۱	۲/۵۴
Na	۱۹	۱۵۲۶/۳	۳۱۸/۸۳	۳۴۳/۲	۱/۷	۲/۴۳
K	۰/۱	۱۸/۵	۲/۱۱	۲/۲۴	۳/۶۵	۲۰/۰۳
Mg	۴/۶	۲۷۲۱/۶	۸۱/۵۳	۲۲۴/۲۵	۱۰/۷۸	۱۲۶/۷
HCO ₃	۱۸	۶۱۲	۲۲۷/۴۳	۹۰/۹۴	۱/۳۱	۳/۶۲
Cl	۰/۵	۴۲۹۴	۱۴۵/۱۸	۴۳۵/۶	۷/۰۷	۵۸/۳۳
F	۰/۰۱	۲/۵۴	۰/۵۲	۰/۵۵	۱/۰۸	۰/۶۶
NO ₃	۰/۴	۱۶/۱	۳/۴۵	۲/۴	۱/۶۸	۴/۶۳
SO ₄	۲۰	۲۵۲۵	۵۶۷/۳۹	۴۱۷/۹۷	۱/۴۵	۴
EC	۳۵۰	۱۴۷۴۰	۳۲۵۱/۴۷	۲۷۷۸/۳۷	۱/۴۸	۲/۱۴
As	۰/۵	۳	۱/۵۸	۰/۹۶	-۰/۱۵	-۱/۹۱
Ba	۲/۵	۱۵۰	۴۸/۳۱	۳۱/۸۳	۱/۰۴	۰/۵۶
Cr	۰/۵	۵۹/۱	۶/۸۷	۱۰/۰۶	۲/۳۹	۶/۵۹
Cd	۰/۱	۲/۵	۱/۴	۱/۱۶	-۰/۱۴	-۱/۹۵
Cu	۰/۰۳	۲۴	۵/۲	۵/۲	۰/۲۲	-۱/۰۳
Fe	۱۷	۷۳۳	۲۶۷/۶۴	۱۲۸/۸۱	۰/۲۱	۰/۴۶
Mn	۰/۲۵	۳۰۰	۱۴/۴۷	۲۶/۰۵	۸/۶۱	۹۴/۳۹
Ni	۱/۵	۵۳/۵	۱۲/۷۴	۱۱/۷۳	۱/۲۲	۰/۸۸
Pb	۱	۳۸	۸/۸۸	۷/۳۴	۰/۲۱	-۰/۴۳
Sb	۲/۵	۲۳/۷	۲/۶۳	۱/۷	۱۲/۴۵	۱۵۵
Se	۰/۵	۲۱/۸	۲/۳۲	۲/۱۵	۵/۳۴	۴۴/۱۵

بررسی شباهت یا عدم شباهت ترکیب شیمیایی نمونه‌های آب و شباهت در رفتار ژئوشیمیایی متغیرهای کیفی از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی متراکم^۵ صورت گرفته بر داده‌های استاندارد شده با استفاده از روش وارد^۶ و مربع فاصله اقلیدسی^۷ استفاده شده است (Singh, et al., 2004). تحلیل عاملی روش آماری چندمتغیره است که با نوعی آرایش مجدد، متغیرهای اصلی را به عامل‌های کمتری کاهش داده و این عوامل معدود برای تهیه بهترین الگوی بارگذاری قابل تفسیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مقادیر ویژه^۸ سهم یک عامل را از واریانس کل نشان می‌دهد. عامل‌ها بر اساس تحلیل مقادیر ویژه ماتریس همبستگی تهیه می‌شوند و عامل‌های بارگذاری شده^۹ و وزن عامل‌ها^{۱۰}، اندازه‌گیری‌های اصلی تحلیل عاملی‌اند. نخستین مرحله در تحلیل عاملی، استانداردسازی داده‌های خام و محاسبه ماتریس همبستگی بین متغیرهای استاندارد شده است. دومین مرحله محاسبه میزان بار عامل‌ها است که به صورت درجه نزدیکی بین عامل و متغیرها بیان می‌شود.

در مرحله آخر با تبدیلات خطی عامل‌های متناظر با اولین دسته از بارگذاری‌ها با چرخش عامل، واریانس متغیرها بیشینه شده و برای تهیه بهترین الگوی بارگذاری مورد استفاده قرار می‌گیرد (Shyu, et al., 2011). مفهوم انتروپی را شانون به عنوان میزان عدم قطعیت اطلاعات به نظریه داده‌ها اضافه کرد. انتروپی شانون میزان عدم قطعیت داده‌های پیش‌بینی شده از رخدادی احتمالی را نشان می‌دهد.

اگر رخداد یک امر به صورت دقیق پیش‌بینی شود میزان احتمال آن بالا خواهد بود و بالعکس، انتروپی شانون کوچک خواهد بود. اگر n داده ممکن به صورت X عضو مجموعه X₁ تا X_n با احتمالات p(x₁)، p(x₂)، ... و p(x_n) در دسترس باشد. H(X) یک مقدار واقعی غیر صفر، جمع پذیر و یک تابع پیوسته با احتمال p است که انتروپی آن به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$H(X) = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_2 p_i$$

که p_i میزان احتمال x_i است. (Shyu, et al., 2011).

بحث و نتیجه‌گیری

الف) هیدروشیمی

در جدول شماره (۱) خلاصه نتایج تجزیه و تحلیل هیدروشیمیایی استفاده شده در این مطالعه ارائه شده است.

میزان اختلاف کمینه و بیشینه تمامی مشخصه‌های اصلی از جمله کلسیم، سدیم، منیزیم، بیکربنات، کلراید و سولفات بسیار زیاد و قابل توجه بوده و همین اختلاف نیز خود را در میزان هدایت الکتریکی به صورت بسیار فاحشی نشان داده است. در مورد اختلاف مقادیر فلزات سنگین نیز می‌توان بالاترین اختلاف کمینه و بیشینه را برای آهن و پس از آن باریوم، منگنز و لیتیم مشاهده کرد.

جدول شماره (۲) ماتریس ضریب همبستگی را برای تمامی یون‌های اصلی و فرعی نشان داده است. اگر ضریب همبستگی (r) بزرگتر از ۰/۷ باشد، دو مشخصه دارای همبستگی بسیار قوی هستند و همین‌طور، ضریب همبستگی متوسط را نیز می‌توان بین ۰/۵ تا ۰/۷ و در سطح معنی‌داری p < ۰/۰۵ مشاهده کرد (Shyu, et al., 2011). ضریب همبستگی کمتر از ۰/۳ به عنوان عدم همبستگی بین مشخصه‌ها تلقی شده است و در مراحل بعدی که از جمله بررسی‌های چند متغیره از این مشخصه‌ها استفاده نشده است.

جدول شماره (۲): ماتریس ضرایب همبستگی مشخصه‌های هیدروشمیایی

Se	Sb	Pb	Ni	Mn	Fe	Cu	Cd	Cr	Ba	As	EC	SO ₄	NO ₃	F	Cl	HCO ₃	Mg	K	Na	Ca	
																				۱	Ca
																			۱	۰/۵۵	Na
																		۱	-۰/۰۶	۰/۰۲	K
																	۱	۰/۰۲	۰/۲۸	۰/۳۵	Mg
																۱	-۰/۰۹	-۰/۰۹	-۰/۰۲	-۰/۱۰	HCO ₃
															۱	-۰/۰۷	-۰/۰۳	-۰/۰۳	-۰/۰۹	۰/۰۹	Cl
														۱	-۰/۰۸	-۰/۰۰	-۰/۰۴	-۰/۰۲	۰/۵۱	۰/۱۰	F
													۱	۰/۱۳	۰/۰۸	-۰/۰۱	۰/۴۷	۰/۰۸	۰/۳۴	۰/۳۴	NO ₃
												۱	۰/۳۲	۰/۵۱	-۰/۰۸	-۰/۰۱	۰/۱۸	-۰/۰۵	۰/۶۹	۰/۵۳	SO ₄
											۱	۰/۵۹	۰/۴۰	۰/۲۵	۰/۰۶	-۰/۰۹	-۰/۴۰	۰/۰۱	۰/۶۵	۰/۸۹	EC
										۱	-۰/۱۰	-۰/۲۹	-۰/۳۴	-۰/۳۳	-۰/۰۹	-۰/۲۳	-۰/۱۲	-۰/۰۳	-۰/۱۹	-۰/۱۲	As
									۱	۰/۱۱	۰/۰۰	-۰/۱۲	۰/۰۳	-۰/۱۲	-۰/۰۸	-۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۱۳	-۰/۱۴	۰/۰۵	Ba
								۱	-۰/۰۰	-۰/۳۸	-۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۳	-۰/۱۲	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۰	-۰/۰۴	Cr
							۱	۰/۳۶	-۰/۰۴	-۰/۹۰	-۰/۰۶	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۱۷	-۰/۲۳	-۰/۱۰	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۰۸	Cd
						۱	۰/۹۴	۰/۳۶	-۰/۰۹	-۰/۹۱	-۰/۰۶	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۲۹	۰/۱۶	-۰/۲۲	-۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۰۸	Cu
				۱	-۰/۲۱	-۰/۲۱	۰/۰۶	-۰/۰۵	۰/۲۷	-۰/۱۳	-۰/۱۸	-۰/۱۵	-۰/۱۴	-۰/۰۴	-۰/۰۰	-۰/۰۳	۰/۰۳	-۰/۱۳	-۰/۱۳	-۰/۱۲	Fe
				۱	۰/۱۷	-۰/۵۲	-۰/۵۲	-۰/۲۰	۰/۴۹	-۰/۰۶	-۰/۱۰	-۰/۱۶	-۰/۲۰	-۰/۰۹	-۰/۰۲	-۰/۰۵	-۰/۰۳	-۰/۰۳	-۰/۰۹	-۰/۰۸	Mn
			۱	-۰/۲۲	-۰/۱۱	۰/۳۷	۰/۳۸	۰/۲۹	-۰/۱۸	-۰/۳۵	-۰/۰۲	۰/۲۰	۰/۱۵	۰/۲۶	۰/۱۶	-۰/۱۴	-۰/۱۳	۰/۰۰	۰/۰۵	-۰/۰۲	Ni
		۱	۰/۳۶	-۰/۴۶	-۰/۱۶	۰/۸۳	۰/۸۲	۰/۳۱	۰/۰۳	-۰/۷۹	۰/۰۲	۰/۱۵	۰/۲۸	۰/۲۰	۰/۱۵	-۰/۲۷	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۰۵	Pb
	۱	۰/۰۶	۰/۱۶	-۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۰	-۰/۰۴	۰/۰۰	-۰/۰۵	-۰/۰۸	-۰/۰۶	-۰/۰۴	-۰/۰۱	-۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۱	-۰/۰۴	-۰/۰۷	Sb
۱	۰/۰۷	-۰/۱۱	-۰/۰۶	۰/۰۸	-۰/۰۲	-۰/۱۰	-۰/۱۲	-۰/۱۵	-۰/۰۶	۰/۱۳	-۰/۱۱	۰/۰۰	۰/۰۵	-۰/۰۶	۰/۰۵	-۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۱۹	۰/۰۶	۰/۱۱	Se

الکتریکی و باریوم و در پایان کروم و باریوم ($I=0$) و همبستگی منفی قوی بین مس و آرسنیک ($I=0/91$)، کادمیوم و آرسنیک ($I=0/9$) و همچنین سرب و آرسنیک ($I=0/79$) چشمگیر است.

ب) خوشه‌بندی داده‌ها

خوشه‌بندی داده‌ها و مشخصه‌ها و همچنین بررسی‌های چندمتغیره که در ادامه به آن‌ها پرداخته شده است با استفاده از ۱۴ مشخصه انتخابی که دارای همبستگی قوی تا متوسط بودند صورت گرفت. در اولین اقدام، ۱۴ مشخصه مورد نظر در خوشه‌های مختلف دسته‌بندی شده که در شکل شماره (۱) خوشه‌بندی صورت گرفته نمایش داده شده است. در این مطالعه، تفکیک مشخصه‌ها در حالات ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ خوشه‌ای صورت گرفت که جایگاه هر مشخصه در حالت‌های مختلف را می‌توان در جدول شماره (۳) مشاهده کرد. بعنوان یک نکته چشمگیر مشخصه‌های کلسیم، سدیم، نیترات، سولفات و هدایت الکتریکی در تمامی حالات در یک

ضرایب همبستگی تعیین شده بین متغیرهای اصلی مختلف نشان از وجود همبستگی مثبت قوی بین هدایت الکتریکی و کلسیم ($I=0/89$) و همبستگی متوسط با سدیم ($I=0/55$) و سولفات ($I=0/53$) دارد. بنابراین می‌توان بیشترین تأثیرپذیری هدایت الکتریکی را از کلسیم، سدیم و سولفات دانست. در همین رابطه نیز می‌توان به همبستگی متوسط سولفات با کلسیم ($I=0/53$)، سدیم ($I=0/69$) و فلئور ($I=0/51$) و همچنین همبستگی متوسط فلئور و سدیم ($I=0/51$) اشاره کرد. بررسی ماتریس ضرایب همبستگی فلزات سنگین موجود در آب زیرزمینی دشت لنجانات همبستگی قوی تغییرات مقادیر مس و کادمیوم ($I=0/94$) و همچنین سرب و کادمیوم ($I=0/82$) را نشان می‌دهد. ولی به طور کلی نمی‌توان همبستگی قوی یا حتی متوسطی بین بیشتر فلزات سنگین نمونه‌برداری شده دنبال کرد. نبود همبستگی بین منیزیم و کروم، باریوم و آنتیموان، بیکربنات با فلئور و آهن، سدیم و کروم، پتاسیم و نیکل، آرسنیک و کروم با آنتیموان، سزیم و سولفات، هدایت

با افزایش تعداد خوشه‌ها می‌توان تفکیک بیشتری را مشاهده کرد. در این مطالعه با توجه به تعداد مشخصه‌های انتخابی و همچنین ساختار دندوگرام تهیه شده از این مشخصه‌ها، تقسیم‌بندی و خوشه‌بندی تا ۶ دسته مورد بررسی قرار گرفت. شکل شماره (۲) - ب توزیع سه خوشه‌ای داده‌ها را نمایش می‌دهد، خوشه ۳ از خوشه ۱ مشتق می‌شود و این نشان از قرابت این دو خوشه به هم است. شکل شماره (۲) - ج توزیع ۴ خوشه‌ای داده‌ها را نشان می‌دهد، همپوشانی خوشه ۱ و ۳ کرد بیشتری پیدا کرده و در اکثر نقاط این حالت مشاهده می‌شود. در همین ارتباط نیز می‌توان مشتق شدن خوشه ۴ را از خوشه ۲ مورد توجه قرار داد. در شکل شماره (۲) - د که توزیع ۵ خوشه‌ای را در سطح منطقه نشان می‌دهد، مشتق شدن خوشه ۵ از خوشه‌های ۱ و ۳ و همپوشانی با این دو دسته قابل ذکر است. در همین رابطه خوشه ۴ را می‌توان مستقل از سایر خوشه‌ها محسوب کرد و در هیچ موقعیتی با هیچ خوشه دیگری همپوشانی ندارد. تفکیک بیشتر نمونه‌ها در قالب ۶ خوشه در شکل شماره (۲) - ه نمایش داده شده است. در این شکل، همپوشانی خوشه‌های ۴ و ۱ و خوشه‌های ۵ و ۲ چشمگیر است و خوشه ۶ از ۵ نوع خوشه دیگر مشتق شده است.

خوشه قرار می‌گیرند و این نشان از همبستگی تغییرات هر چند جزئی در قالب یک خوشه در تمامی دوره نمونه‌برداری است. افزون بر این می‌توان به قرارگیری مداوم آرسنیک و منگنز و همچنین نیکل و سرب در خوشه‌های مشابه اشاره کرد. تحلیل خوشه‌بندی مشخصه‌های مختلف و استفاده از GIS در تعیین چگونگی توزیع فضایی خوشه‌های تعیین شده بخش دیگری از این مطالعه است. با توجه به این که نمونه برداری از تعداد مشخصی منبع آبی در دو فصل تر و خشک یک سال آبی انجام شده است، تحلیل توزیع خوشه‌ها و چگونگی تغییر موقعیت هر نمونه در خوشه‌های مختلف در همین سال آبی مورد ارزیابی قرار گرفته است. شکل شماره (۲) چگونگی توزیع خوشه‌های مختلف در حالات متفاوت را نشان می‌دهد. شکل شماره (۲) - الف نتیجه قرارگیری نمونه‌های آب در دو خوشه می‌باشد. بر اساس شکل در بسیاری از موقعیت‌ها، نمونه‌هایی متعلق به هر دو نوع خوشه قابل مشاهده است به عبارتی بسیاری از نمونه‌ها در سال آبی مورد نظر در دو خوشه متفاوت قرار می‌گیرند. در توضیح این مورد می‌توان عنوان کرد که هر نمونه در نیمی از سال آبی می‌تواند در یک خوشه قرار گیرد و با تغییر شرایط هیدروشیمیایی می‌تواند در همان خوشه، یا خوشه‌ای دیگر قرار گیرد.

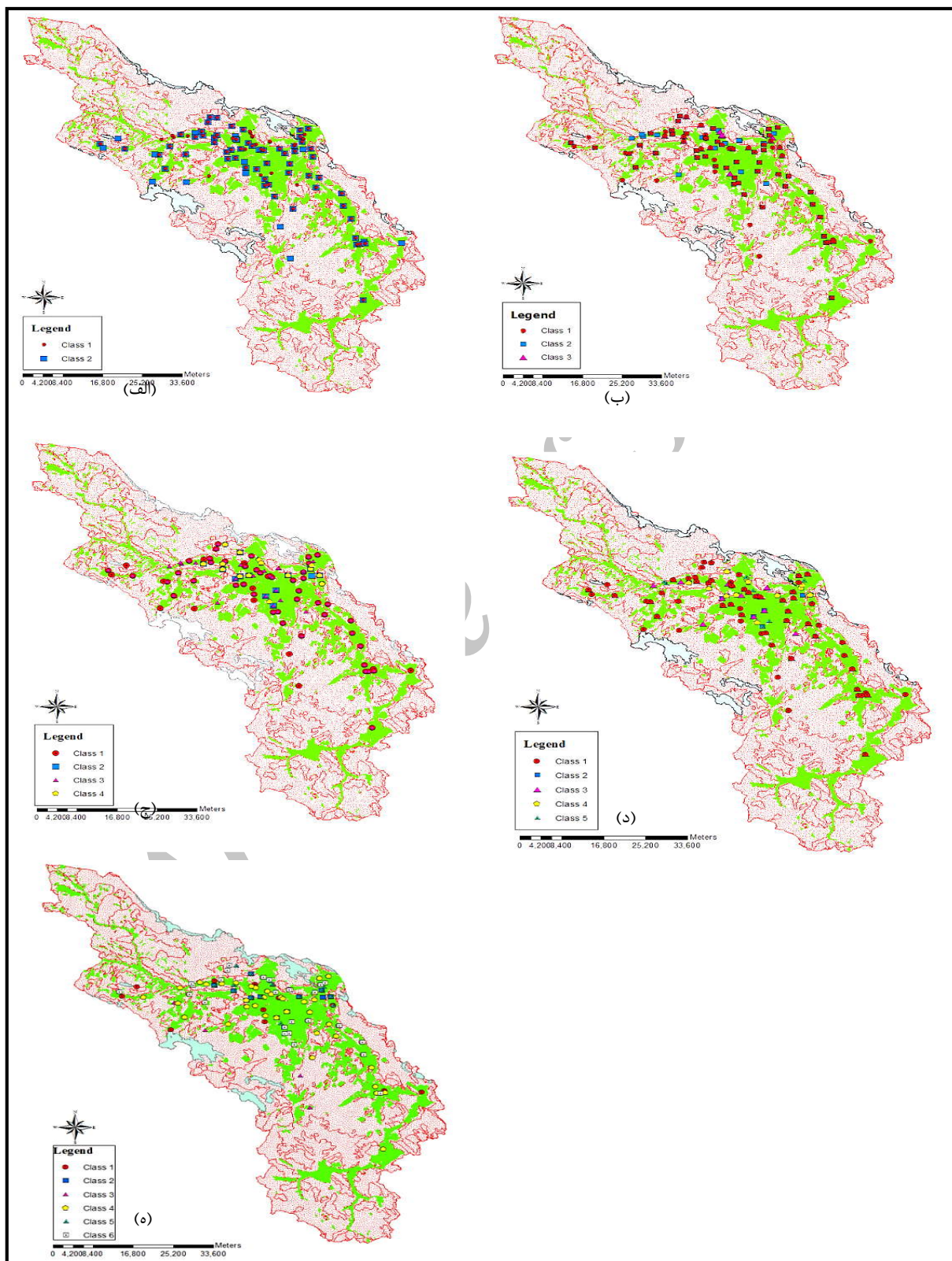
Rescaled Distance Cluster Combine

CASE	0	5	10	15	20	25	
Label	Num	+-----+-----+-----+-----+-----+					
Ca	1	+++					
EC	7	++					
Na	2	++					
SO4	6	++++---+					
NO3	5	++					
F	4	+++ +-----+					
Mg	3	+++++					
Cr	9	++ +---+					
Cu	11	+++		+-----+			
Pb	14	++ +++					
Ni	13	+++					
Cd	10	-----+					
As	8	+-----+					
Mn	12	++					

شکل شماره (۱): خوشه‌بندی مشخصه‌های انتخابی

جدول شماره (۳): جایگاه مشخصه‌ها در حالات مختلف خوشه‌بندی

Pb	Ni	Mn	Cu	Cd	Cr	As	EC	SO4	NO3	F	Mg	Na	Ca	
۱	۱	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	خوشه ۲
۱	۱	۲	۱	۳	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	خوشه ۳
۲	۲	۳	۲	۴	۲	۳	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱	خوشه ۴
۵	۵	۳	۵	۴	۲	۳	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱	خوشه ۵
۶	۶	۴	۶	۵	۲	۴	۱	۱	۱	۳	۲	۱	۱	خوشه ۶



شکل شماره (۲): همپوشانی توزیع فضایی خوشه‌های مختلف در محدوده مورد مطالعه

ج) تحلیل عاملی

از مقادیر نرمال شده ۱۴ مشخصه مربوط به ۱۵۵ نمونه برای تحلیل عاملی استفاده شد. تحلیل عاملی بر اساس مشخصه‌های کیفیت نشان می‌دهد که ۷۰/۶۷ درصد تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت لنجان با ۳ عامل کنترل می‌شود، که در ادامه توصیف هر عامل بیان می‌شود. بار عاملی این ۳ عامل نسبت به مشخصه‌های کیفیت در جدول شماره (۴) ارائه شده است.

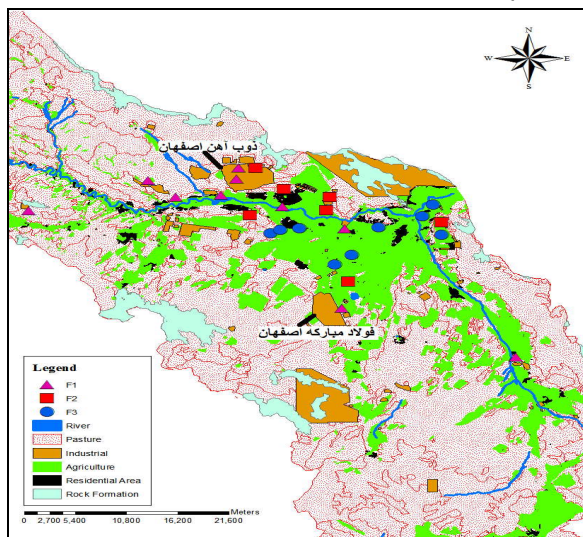
جدول شماره (۴): مقدار بار عامل‌ها بر اساس چرخش

Varimax

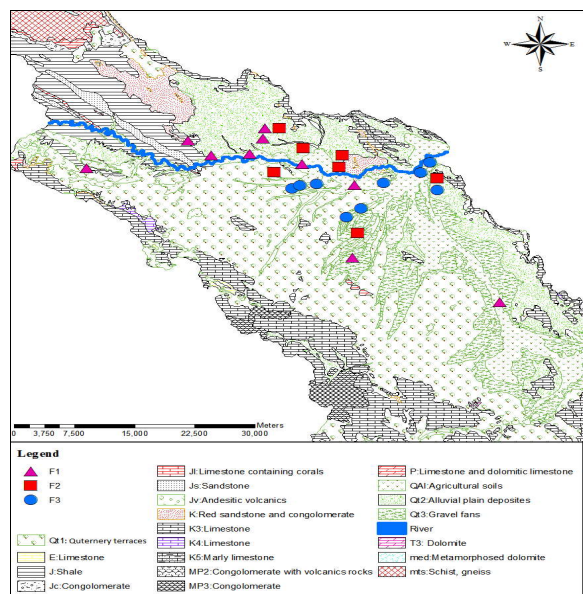
مشخصه	عامل		
	۳	۲	۱
Ca	۰/۷۳	۰/۴۱	-۰/۰۵
Na	۰/۳۵	۰/۷۹	۰/۰۴
Mg	۰/۷۶	-۰/۰۴	-۰/۰۶
F	-۰/۱۵	۰/۷۸	۰/۲۷
NO ₃	۰/۶۹	۰/۰۸	-۰/۲۱
SO ₄	۰/۲۹	۰/۸۱	-۰/۱۴
EC	۰/۷۱	۰/۵۶	-۰/۰۷
As	-۰/۱۱	-۰/۱۴	-۰/۹۲
Cr	-۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۴۷
Cd	۰/۱	۰/۰۶	۰/۹۵
Cu	۰/۰۹	۰/۰۸	-۰/۹۵
Mn	-۰/۱	-۰/۰۸	-۰/۹۶
Ni	-۰/۰۲	۰/۱۶	-۰/۴۸
Pb	۰/۱۲	۰/۰۶	-۰/۸۸
مقدار ویژه	۱/۲۷	۳/۱۴	۵/۴۸
درصد واریانس	۹/۰۷	۲۲/۴۲	۳۹/۱۹
تجمعی درصد واریانس	۷۰/۶۷	۶۱/۶۱	۳۹/۱۹

عامل ۱: این عامل ۳۹/۱۹ درصد تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در دشت لنجان را موجب می‌شود و شامل مشخصه‌های As, Cd, Cu, Mn و Pb است. این مشخصه‌ها تماماً حاصل فعالیت‌های انسانی بوده و منشاء آن‌ها واحدهای صنعتی موجود در منطقه می‌باشد. در دشت لنجان واحدهای صنعتی فراوانی در حال فعالیت هستند که با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در این مطالعه می‌توان اثرگذاری این واحدها را بر تغییر کیفیت آب زیرزمینی بروشنی مشاهده کرد. شکل شماره (۳) نشان می‌دهد که موقعیت ۱۰ نمونه‌ای که دارای بالاترین وزن مربوط به این عامل هستند دقیقاً بر محدوده‌های صنعتی منطبق بوده، و یا در نزدیکی این واحدها قرار دارند. البته باید یادآوری کرد که در چند موقعیت نیز که در امتداد رودخانه زاینده‌رود قرار گرفته‌اند بالاترین وزن عامل ۱ را

می‌توان مشاهده کرد که برای این منظور می‌توان تخلیه فاضلاب شهری و صنعتی را مهم‌ترین عامل افزایش غلظت فلزات سنگین قلمداد کرد.



(الف)



(ب)

شکل شماره (۳): چاه‌های دارای بالاترین وزن مربوط به

عامل‌های ۱، ۲ و ۳ در الف) نقشه کاربری و ب) نقشه زمین‌شناسی
عامل ۲: اثرگذاری این عامل در تغییر کیفیت آب زیرزمینی دشت لنجان برابر ۲۲/۴۲ درصد کل عوامل مؤثر است. مهم‌ترین مشخصه‌های این عامل Na, F و SO₄ است. بررسی جدول همبستگی بین مشخصه‌های اندازه‌گیری شده نیز نشان می‌دهد که این سه مورد دارای بالاترین همبستگی بین خود هستند و این نشان از منشاء مشترک این مشخصه‌ها دارد. مطابق شکل شماره (۳) نقاط

د) محاسبات انتروپی شانون

به منظور تعیین وضعیت داده‌های برداشت شده و بررسی قابلیت اعتمادپذیری این داده‌ها برای مطالعات دقیق در دراز مدت، پایداری هر یک از مشخصه‌های هیدروشیمیایی با استفاده از نظریه انتروپی اطلاعات مورد ارزیابی قرار گرفت. به همین منظور انتروپی اطلاعات برای هر نمونه و هر داده محاسبه شده و با توجه به مقدار انتروپی هر داده، مقدار وزن آن نیز تعیین شد. سپس وزن هر نمونه برای هر مشخصه محاسبه شده و در ادامه این وزن‌ها برای هر عامل طبقه‌بندی شد.

جدول شماره (۶) بخشی از نتایج محاسبات صورت گرفته را نمایش می‌دهد. در پایان، بزرگی جمع وزن‌ها ملاک تعیین پایداری کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ مشخصه مورد نظر است. مقادیر کمتر نشان‌دهنده ناپایداری^{۱۲} بالا و تغییرات مداوم کیفیت آب زیرزمینی است. در مواردی که چاه‌ها دارای وزن مشابه هستند نمی‌توان تغییرات کیفی آنها را نسبت به یکدیگر مورد ارزیابی قرار داد ولی در این گونه موارد، مشخصه‌های آب زیرزمینی برای چاه‌های ذکر شده کم‌وبیش پایدار هستند.

در جدول شماره (۶) مقادیر انتروپی و وزن انتروپی ۱۴ مشخصه مورد بررسی در این مطالعه ارائه شده است. در نمونه‌های برداشت شده از محدوده مطالعاتی دشت لنجان، به جز As, Cd و Mn که دارای کمترین انتروپی و بالاترین وزن هستند، تمامی مشخصه‌ها مقادیر تقریباً مشابه انتروپی و وزن انتروپی را نشان می‌دهند. بر این اساس مشخصه‌های مورد بررسی به استثنای سه مورد ذکر شده دارای تغییرات مداوم بوده و بسیاری از این تغییرات را می‌توان به ارتباط با تشکیلات زمین‌شناسی نسبت داد.

از طرف دیگر، مقادیر بالای وزن انتروپی نشان از تأثیرگذاری بالاتر نسبت به سایر مشخصه‌هاست (Wu, et al., 2011). بنابراین، فلزات سنگین موجود در آب زیرزمینی بالاترین تأثیر را در تغییر کیفیت و به عبارتی کاهش کیفیت آن دارند.

بررسی تغییرات مقادیر انتروپی و وزن انتروپی مربوط به هر عامل که در جدول شماره (۷) ارائه شده است نشان می‌دهد که بالاترین وزن انتروپی مربوط به عامل ۱ و پس از آن عوامل ۳ و ۲ است. تغییرات مداوم و ناپایداری مشخصه‌های مربوط به عامل ۲ و پس از آن عامل ۳ و در پایان عامل ۱ و همچنین بالاترین تأثیرگذاری بر کیفیت آب زیرزمینی دشت لنجان با مشخصه‌های

دارای بالاترین وزن عامل شماره ۲ در مجاورت مناطق مسکونی، زمین‌های کشاورزی و مکان‌های صنعتی واقع شده‌اند. مهمترین منشاء سولفات و سدیم در این دشت وجود بلورها و میان لایه‌های لایه‌های گچی و نمکی موجود در رسوبات این منطقه است. افزون بر این، استفاده از کودهای شیمیایی و ورود فاضلاب مراکز صنعتی و مسکونی از دیگر عوامل تغلیظ سولفات و فلوئور است.

عامل ۳: این عامل به میزان ۹/۰۷ درصد در تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت لنجان سهم می‌باشد. عامل یاد شده شامل ۴ مشخصه Ca , Mg , NO_3 و EC است.

بررسی موقعیت قرارگیری محل‌های دارای بالاترین وزن این عامل (شکل شماره ۳) نشان می‌دهد که این موقعیت‌ها در مناطق کشاورزی و مسکونی قرار گرفته‌اند که با توجه به کشت غالب در این منطقه که بیشتر برنج است و از کودهای نیتراته به میزان بالایی استفاده می‌شود می‌توان پیش‌بینی کرد که مقادیر بالایی از نیترات به آب زیرزمینی نفوذ کند که در پایان نیز منجر به افزایش EC و نمود بیشتر نیترات در تغییرات کیفی این محدوده می‌شود.

در ادامه این مطالعه، وزن ۳ عامل اصلی با استفاده از روش کریجینگ مورد ارزیابی قرار گرفت. جدول شماره (۵) نتایج تغییرنگاری را برای عامل‌های تعیین شده نمایش می‌دهد.

به منظور برازش بهترین تغییرنگار مبتنی بر مدل کمترین مربعات، بهترین مدل‌هایی که دارای کمترین مجموع مربعات کاهش یافته^{۱۱} (RSS) و بیشترین مقدار R^2 بود با استفاده از نرم‌افزار GS+ تعیین شد. با توجه به نتایج جدول ۵، عامل ۲ و ۳ به ترتیب دارای مقدار sill برابر ۰/۹۹۷ و ۱/۰۵۲ هستند که این مبین توزیع نرمال داده‌ها بوده و وجود نسبت تأثیر بالای ($< 38\%$) nugget نشان‌دهنده نوسان‌های کوچک ولی پیوسته برای عامل‌ها در این بازه زمانی است (Shyu, et al., 2011).

به نظر می‌رسد وجود کاربری‌های مختلف کشاورزی، صنعتی و مسکونی در دشت لنجان و همچنین تنوع ساختارهای زمین‌شناسی در این منطقه موجب این تغییرات شده است.

جدول شماره (۵): نتایج تغییرنگاری برای وزن عامل‌های تعیین شده

عامل	نوع مدل	C0	C0+C	Range	R^2
۱	گوسی	۰/۲۳۴	۱/۰۸۹	۱۱۶۰۴/۷۴	۰/۸۴۷
۲	خطی	۰/۹۹۷	۰/۹۹۷	۳۳۶۳۶/۶۸	۰/۸۸۸
۳	خطی	۱/۰۵۲	۱/۰۵۲	۳۳۶۳۶/۶۸	۰/۷۹۲

می‌دهد منشاء این عناصر که بالاترین تأثیرگذاری را در تغییر کیفیت آب زیرزمینی دشت لنجان دارند هستند از محیط طبیعی و تشکیلات موجود در منطقه نبوده است (Shyu, et al., 2011). با توجه به همبستگی منفی قوی (جدول شماره ۸)، منشاء ورود و تغییرات مشخصه‌های عامل‌های ۲ و ۳ عوامل طبیعی بوده و فعالیت‌های انسانی کمترین تأثیر را در این مورد دارد. نمونه‌های آبی که دارای مقادیر بالای مشخصه‌های تعریف شده در عامل‌های ۲ و ۳ هستند به دلیل ماهیت طبیعی تغییرات این مشخصه‌ها می‌توانند بسیار ناپایدار بوده و تغییرات و نوسان‌های زیادی را نشان دهند.

مربوط به عامل ۱ و پس از آن عامل ۳ و در پایان عامل ۲ را می‌توان از نتایج ارائه شده در جدول شماره (۷) استنباط کرد. در جدول شماره (۸) همبستگی بین مقدار انترویی هر مشخصه و عامل مربوط ارائه شده است. در شکل شماره (۴) ارتباط بین وزن عامل ۱ و مقدار انترویی As و Mn، رابطه بین وزن عامل ۲ و مقدار انترویی SO₄ و F و رابطه بین وزن عامل ۳ و مقدار انترویی Ca و NO₃ برای ۱۵۵ نمونه تهیه شده از دشت لنجان نمایش داده شده است. وجود تغییرات همزمان و نوسان‌های مشابه وزن عامل ۱ و مقدار انترویی فلزات سنگین موجود در آبهای زیرزمینی این دشت نشان

جدول شماره (۶): مقادیر انترویی و وزن انترویی مشخصه‌های مورد بررسی

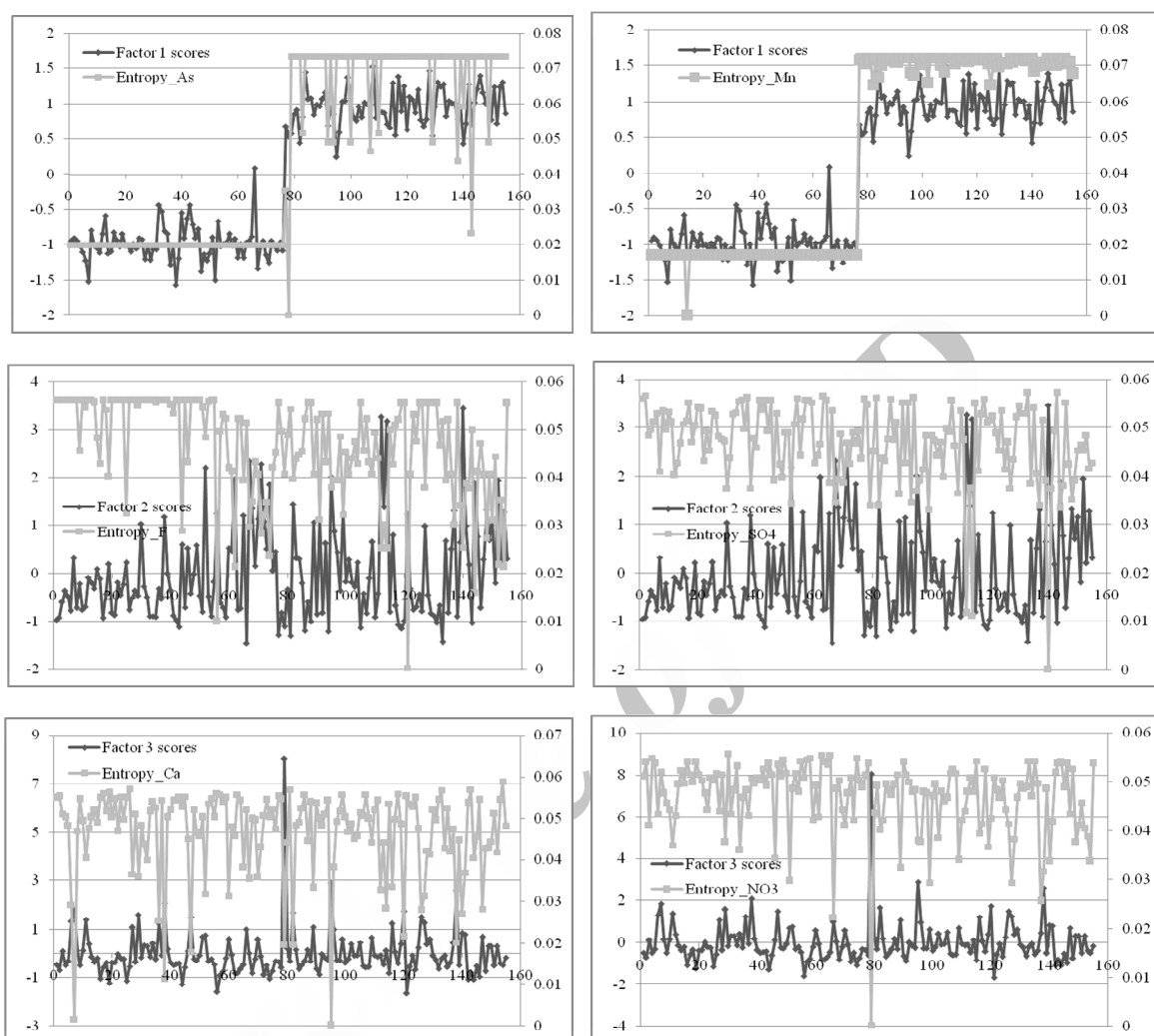
Pb	Ni	Mn	Cu	Cd	Cr	As	EC	SO ₄	NO ₃	F	Mg	Na	Ca	
۷/۲۲	۷/۲۰	۶/۸۷	۷/۲۱	۶/۴۶	۷/۳۴	۶/۹۲	۷/۲۲	۷/۲۳	۷/۳۴	۷/۲۱	۷/۲۶	۷/۱۹	۷/۲۱	مقدار انترویی
۱۱/۰۶	۱۱/۰۶	۱۱/۰۹	۱۱/۰۶	۱۱/۱۲	۱۱/۰۶	۱۱/۰۸	۱۱/۰۶	۱۱/۰۶	۱۱/۰۶	۱۱/۰۶	۱۱/۰۶	۱۱/۰۶	۱۱/۰۶	وزن انترویی

جدول شماره (۷): مقادیر انترویی و وزن انترویی عامل‌های مختلف

نمونه	مقدار انترویی			وزن انترویی		
	۱	۲	۳	۱	۲	۳
۱	۰/۲۳۴۵	۰/۱۶۷۶	۰/۲۰۸۵	۰/۳۵۵۶	۰/۲۱۳۱	۰/۲۸۵۳
۲	۰/۲۳۲۷	۰/۱۶۸۲	۰/۲۱۳۹	۰/۳۵۸۸	۰/۲۱۳۱	۰/۲۸۵۰
۳	۰/۲۳۴۵	۰/۱۵۷۱	۰/۱۹۲۴	۰/۳۵۷۸	۰/۲۱۳۴	۰/۲۸۵۸
۱۵۴	۰/۲۲۶۲	۰/۰۹۸۸	۰/۱۸۳۹	۰/۳۵۵۴	۰/۲۱۶۰	۰/۲۸۴۱
۱۵۵	۰/۲۲۲۹	۰/۱۳۴۴	۰/۱۹۳۱	۰/۳۵۷۳	۰/۲۱۴۳	۰/۲۸۴۷
جمع	۳۴/۷۰۷	۲۱/۶۴۳	۲۸/۹۴۶	۵۵/۴۲۶	۳۳/۱۹۳	۴۴/۲۵۱

جدول شماره (۸): میزان همبستگی مقدار انترویی هر مشخصه با وزن عامل مربوطه

Pb	Mn	Cu	Cd	As	وزن عامل ۱ و مقدار انترویی
۰/۸۶۰	۰/۹۶۴	۰/۸۸۱	۰/۸۵۸	۰/۹۲۴	
-	-	SO ₄	F	Na	وزن عامل ۲ و مقدار انترویی
-	-	-۰/۸۱۱	-۰/۷۷۵	-۰/۷۸۱	
-	EC	NO ₃	Mg	Ca	وزن عامل ۳ و مقدار انترویی
-	-۰/۷۲۴	-۰/۷۲۳	-۰/۷۵۱	-۰/۷۳۱	



شکل شماره (۴): رابطه بین وزن عامل و مقدار اتروپی برای برخی مشخصه‌ها

نتیجه‌گیری

یک خوشه در تمام دوره نمونه‌برداری است. در همین ارتباط نیز می‌توان به قرارگیری مداوم آرسنیک و منگنز و همچنین نیکل و سرب در خوشه‌های مشابه اشاره کرد. نتایج تحلیل عاملی نشان می‌دهد که در این دشت می‌توان به میزان ۶۷/۷۰ درصد تغییرات کیفی آب زیرزمینی را با استفاده از سه عامل مورد ارزیابی قرار داد. عامل اول با ۱۹/۳۹ درصد دارای بالاترین تأثیرگذاری بر کیفیت آب زیرزمینی این دشت بوده و پس از آن عامل ۲ با ۴۲/۲۲ درصد و در نهایت عامل ۳ با ۷/۹۰ درصد بر این نوسان‌های تأثیرگذارند. وجود تغییرات همزمان و نوسان‌های مشابه وزن عامل ۱ و مقدار اتروپی فلزات سنگین موجود در آبهای زیرزمینی این دشت نشان می‌دهد، منشاء این عناصر که بالاترین تأثیرگذاری را در تغییر کیفیت آب زیرزمینی دشت لنجانان دارا هستند انسان‌زاد و غیر از عوامل طبیعی است. با توجه به همبستگی منفی قوی، منشاء ورود و تغییرات

در دشت لنجانان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی از حداقل ۳۵۰ تا حداکثر ۱۴۷۵۰ میکرومhos بر سانتیمتر تغییر می‌کند و متوسط هدایت الکتریکی در این دشت در حدود ۳۲۰۰ میکرومhos بر سانتیمتر اندازه‌گیری شده است. علاوه بر کیفیت نازل آب در این دشت، تغییرات حداقل و حداکثر در این دشت نشان داده است که مهمترین عامل شوری آب در درون دشت واقع شده است. بررسی همبستگی مشخصه‌های مختلف کیفی نشان می‌دهد که بیشترین تأثیرپذیری هدایت الکتریکی از کلسیم، سدیم و سولفات است.

نتایج خوشه‌بندی متغیرهای کیفی در قالب حالات ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ خوشه‌ای نشان داد که مشخصه‌های کلسیم، سدیم، نیترات، سولفات و هدایت الکتریکی در تمامی حالات در یک خوشه قرار می‌گیرند و این نشان از همبستگی تغییرات هر چند جزئی در قالب

یادداشت‌ها	
1- Factor Analysis	<p>مشخصه‌های عامل‌های ۲ و ۳ طبیعی بوده و فعالیت‌های انسانی کمترین تأثیر را در این مورد دارد. نمونه‌های آبی که دارای مقادیر بالای مشخصه‌های تعریف شده در عامل‌های ۲ و ۳ هستند به دلیل ماهیت طبیعی تغییرات این مشخصه‌ها می‌توانند بسیار ناپایدار بوده و نوسان‌های زیادی را نشان دهند. ترکیب روش زمین آماری و نظریه انتروپی اطلاعات به منظور ارزیابی تغییرات کیفی آب زیرزمینی می‌تواند ابزاری سودمند به منظور تحلیل عدم قطعیت و نوسان‌های مشخصه‌های هر عامل باشد و در صورت وجود و دسترسی به اطلاعات بلند مدت ما را در بررسی بلند مدت و دقیق کیفیت منابع آب زیرزمینی یاری کند.</p>
2- Cluster Analysis	
3- Shannon	
4- Information Entropy Theory	
5- Hierarchical Agglomerative Clustering	
6- Ward Method	
7- Euclidean	
8- Eigenvalue	
9- Factor Loadings	
10- Factor Scores	
11- Reduced Sum of Squares	
12- Instability	

منابع مورد استفاده

- Adams, S., et al. 2001. Hydrochemical characteristics of aquifers near Sutherland in the Western Karoo, South Africa. *J. Hydrol.*, 241, 91-103.
- Adewale, M.T. 2011. Source Identification and Apportionment of Pollution Sources to Groundwater Quality in Major Cities in Southwest, Nigeria.
- Aiuppa, A. et al. 2003. Natural and anthropogenic factors affecting groundwater quality of an active volcano (Mt. Etna, Italy). *Appl. Geochem.*, 18, 863-882.
- Cruz, J.V., M.O., Silva. 2000. Groundwater salinization in Pico Island (Azores, Portugal): Origin and mechanisms. *Environ. Geol.*, 39, 1181-1189.
- De Andrade, E.M., et al. 2008. Land use effects in groundwater composition of an alluvial aquifer (Trussu River, Brazil) by multivariate techniques. *Environ. Res.*, 106, 170-177.
- Edet, A., et al. 2011. Groundwater chemistry and quality of Nigeria: A status review. *African Journal of Environmental Science and Technology* Vol. 5(13), pp. 1152-1169
- Hajalilou, B., F., Khaleghi. 2009. Investigation of hydrogeochemical factors and groundwater quality assessment in Marand Municipality, northwest of Iran: A multivariate statistical approach. *Journal of Food, Agriculture & Environment* Vol. 7 (3&4): 930-937.
- Kim, J.H., et al. 2003. Application of cluster analysis for the hydrogeochemical factors of saline groundwater in Kimje, Korea. *Geosci. J.*, 7, 313-322.
- Love, D., et al. 2004. Factor analysis as a tool in groundwater quality management: Two southern African case studies. *Phys. Chem. Earth*, 29, 1135-1143.
- Mogheir, Y., V.P., Singh, J.L.M.P., Lima. 2006. Spatial assessment and redesign of groundwater quality monitoring network entropy theory, Gaza Strip, Palestine. *Hydrogeology. J.*, 14, 700-712.

Ogunribido, T.H.T., Ph.O.O., Kehinde .2011. Multivariate Statistical Analysis for Assessment of Hydrogeochemistry of Groundwater in Agbabu Area, S.W. Nigeria. Proceedings of the Environmental Management Conference, Federal University of Agriculture, Abeokuta, Nigeria.

Shyu, G.S., et al. 2011. Applying Factor Analysis Combined with Kriging and Information Entropy Theory for Mapping and Evaluating the Stability of Groundwater Quality Variation in Taiwan. Int. J. Environ. Res. Public Health, 8, 1084-1109.

Singh, K.P., et al. 2004. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)-a case study. Water Res., 38, 3980-3992.

Singh, V.P. 1997. The use of entropy in hydrology and water resources. Hydrol. Process. 11, 587-626.

Wu, J., P., Li, H., Qian .2011. Groundwater Quality in Jingyuan County, a Semi-Humid Area in Northwest China. E-Journal of Chemistry. 8(2).787-793.

Archive of SID