

ارزیابی کیفی آب زیرزمینی در دشت لنجان با روش فازی تاکاگی - سوگنو

صلاح الدین کامرانی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی

محسن رضایی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی

تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۸

تاریخ دریافت: ۹۳/۹/۲۷

Salah.kamrani@yahoo.com

چکیده

در مطالعه حاضر، از روش فازی تاکاگی-سوگنو جهت ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در دشت لنجان اصفهان استفاده گردید. در این روش از ۱۶ پارامتر شیمیایی اندازه گیری شده در ۷۹ نمونه آب زیرزمینی استفاده شد. این پارامترها، بر اساس اهمیت شان در کیفیت آب از نظر شرب، به چهار گروه تقسیم شدند. سپس این گروه‌ها، بر اساس قوانین "اگر - آنگاه" فازی با یکدیگر ترکیب شدند و کیفیت نهایی آب تعیین گردید. نتایج مطالعه نشان داد که از مجموع نمونه‌ها، ۱۲ نمونه (۱۵/۱۷٪) کیفیت عالی، ۱۹ نمونه (۲۴/۰۵٪) کیفیت خوب، ۲۷ نمونه (۳۴/۱۷٪) کیفیت متوسط، ۱۵ نمونه (۱۸/۹۸٪) کیفیت ضعیف و ۶ نمونه (۷/۵۹٪) کیفیت خیلی ضعیف داشتند و ۶ نمونه - ای که بدترین کیفیت (رتبه ۵) را دارند در پارامترهای کیفی خود دارای عناصر سنگین سمی با غلظت های بیشتر از حد استاندارد تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) می‌باشند. با توجه به نتایج روش تاکاگی-سوگنو نیز مانند روش ممدانی در ارزیابی کیفیت آب خصوصا در سایت‌های صنعتی یا مناطقی که امکان حضور عناصر سمی سنگین وجود دارد می‌تواند کاربرد داشته باشد.

کلمات کلیدی: کیفیت آب زیرزمینی، منطق فازی، روش تاکاگی-سوگنو، قوانین فازی

مقدمه

با توسعه روزافزون اقتصاد و بهبود در استانداردهای زندگی، محیط پیرامون ما، بخصوص منابع آبی با کاهش کیفیت روبرو می‌باشند. آبهای سطحی سیستمی برای حمل و نقل فاضلاب‌های شهری و صنعتی و آبهای برگشتی از زمین‌های کشاورزی شده‌اند (Conover et al 2004 and 2006) به همین دلیل آلودگی با آلاینده‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی به وسیله فعالیت‌های انسانی بیشترین توجه را در سطح جهانی به خود معطوف داشته است (Mary et al., 2006, Nouri et al., 2010).

آب آشامیدنی نیز در نتیجه نرخ افزایش شهر نشینی، صنعتی شدن و پیش بینی نکردن عواقب مربوط به آن دچار کاهش کیفیت فزاینده‌ای شده است. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در زمینه مدیریت منابع آب آشامیدنی، غلظت آلاینده‌هایی همچون آنیون های مضر مانند نیترات و کلر و فلزات سنگین مانند آرسنیک، سرب، کادمیوم رو به افزایش است و در هر کدام از این مطالعات، روش‌ها و معیارهای متنوعی برای ارزیابی منابع آب ارائه گردیده است (Cordova et al., 2002)

یکی از مشهورترین و متعارف‌ترین روش‌های کاربردی در طول چند دهه اخیر، شاخص‌های کیفیت آب (WQI) می‌باشد. این روش توسط بنیاد ملی بهداشت توسعه داده شد و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا آن را به عنوان روشی رسمی در فرآیند ارزیابی به کار گرفت (Shang et al., 2011). در این روش با مقایسه اندیس‌های تاثیرگذار در کیفیت آب، مشخص کردن حدود اندیس‌ها و با اضافه کردن ضرب عامل وزنی، با توجه به ارزش کیفی هر پارامتر، به بررسی کیفیت آب پرداخته می‌شود.

با این وجود شاخص‌های کیفی دارای نقاط ضعفی هستند، از جمله ضعف این روش‌ها می‌توان به تعیین ارزش کیفی با استفاده از تعداد محدودی پارامتر اشاره کرد. برای مثال، اکثر شاخص‌ها، آلودگی‌های سمی همچون فلزات

سنگین، هیدروکربن‌ها یا آفت‌کش‌ها را بررسی نمی‌کنند. ضمناً، با توجه به معادلات ساده و متغیرهای محدود در این شاخص‌ها، برخی پارامترها بدون توجه علمی مناسب، در نتیجه نهایی تاثیر چشمگیری می‌گذارند (Ocampo et al., 2006).

در روش‌های شاخص کیفیت آب از حدود قطعی وضع شده توسط نهادهای مختلف نظارتی، مانند سازمان بهداشت جهانی (WHO) برای طبقه‌بندی کیفیت آب استفاده می‌شود که این حدود تعیین شده دارای عدم قطعیت‌هایی می‌باشند و نظارت بر کیفیت آب و تصمیمات کمی و کیفی بر اساس داده‌های واقعی با توجه به این عدم قطعیت‌ها دشوار است.

سیستم‌های فازی با توجه به قابلیت‌هایی که در ارزیابی عدم قطعیت‌ها دارند در برآورد کیفیت آب آشامیدنی می‌توانند مفید باشند. در حال حاضر از دو روش سیستم استنتاجی فازی ممدانی و تاکاگی-سوگنو در زمینه‌های مختلف استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر مطالعاتی به منظور برآورد کیفیت آب آشامیدنی با روش ممدانی صورت گرفته است (Piplani et al., 2001, Chang et al., 2005, Dahiya et al., 2007, Korda et al., 2014). در این تحقیق سعی شده ضمن معرفی روش تاکاگی-سوگنو، کارایی این روش در برآورد کیفیت آب آشامیدنی مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

سیستم استنتاج فازی

روش‌های فازی برای مدیریت عدم قطعیت‌های عددی و آماری مطرح شده است. لطفی زاده (۱۹۶۵) اولین کسی است که اصول منطق فازی را عنوان کرد. بسیاری از محققین، روش فازی را در محاسبات خود به کار برده‌اند (Mamdani, 1974, Pappis and Mamdani 1977, Ross, 1995, Sen, 2004, Xiong et al., 2001). سیستم استنتاج فازی، فرآیندی است که استدلال زبان انسان را با استفاده از منطق فازی (بر اساس قوانین اگر-آنگاه فازی) به صورت فرمول در می‌آورد (Tosun et al., 2011). اساس منطق فازی شامل مجموعه‌هایی می‌شود که هر زیرمجموعه یا دسته فازی با عباراتی مانند "کم"، "متوسط"، "زیاد" مشخص می‌شود. یک مجموعه فازی شامل زیرمجموعه‌هایی است که هر کدام درجه‌ای متفاوت از عضویت را در مجموعه فازی دارند که این نقطه مقابل تقسیم‌بندی‌های کلاسیک است. در تقسیم بندی‌های کلاسیک یک متغیر، عضوی از یک دسته می‌باشد یا نمی‌باشد؛ ولی در منطق فازی میزان (درجه) عضویت یک متغیر در دسته، مورد بررسی قرار می‌گیرد. سیستم‌های مبتنی بر قوانین فازی قابلیت نشان دادن سیستم‌های فیزیکی ساده تا پیچیده را دارند. در یک مجموعه فازی کوچک، پیش‌بینی نتایج بسیار جامع و قابل اطمینان است و هر چه مجموعه بزرگ می‌شود محاسبات مربوط به آن نیز طولانی‌تر می‌گردد. در مطالعات کاربردی اغلب از مجموعه‌های فازی با حداکثر ۴ متغیر استفاده می‌شود. (Altunkaynak et al., 2005). سیستم استنتاج فازی، عموماً متشکل از چهار بخش اصلی شامل فازی سازی متغیرها، قوانین فازی "اگر-آنگاه"، موتور استنتاج فازی و غیرفازی سازی می‌باشد. در کاربرد سیستم‌های فازی عموماً دو روش وجود دارد:

(۱) روش ممدانی (۲) روش تاکاگی-سوگنو (TSK)

در روش ممدانی سه مرحله فازی سازی، تعریف قوانین فازی و غیرفازی سازی برای رسیدن به جواب صورت می‌گیرد؛ ولی در روش تاکاگی-سوگنو، مرحله غیرفازی سازی وجود ندارد. در روش ممدانی، خروجی‌های مربوط به قوانین "اگر-آنگاه" به صورت بازه برای متغیرها تعریف می‌شود و مرحله

غیرفازی سازی برای رسیدن به جواب نهایی ضروری می‌باشد؛ ولی در روش تاکاگی-سوگنو، خروجی قوانین "اگر-آنگاه" به صورت یک عدد (میانگین وزنی) برای هر متغیر تعریف می‌شود. الگوریتم عمومی سیستم فازی تاکاگی-سوگنو با فرض وجود قوانین $R_i = (i=1, 2, \dots, n)$ شامل مراحل زیر است:

۱- برای هر R_i مقدار y_i توسط تابع f_i محاسبه می‌شود

$$y_i = f(x_1, x_2, \dots, x_p) = b_r(0) + b_r(1)x_1 + \dots + b_r(p)x_p$$

۲- وزن‌ها توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$r_r = (m_1^r \wedge m_2^r \wedge \dots \wedge m_k^r) \times R^r$$

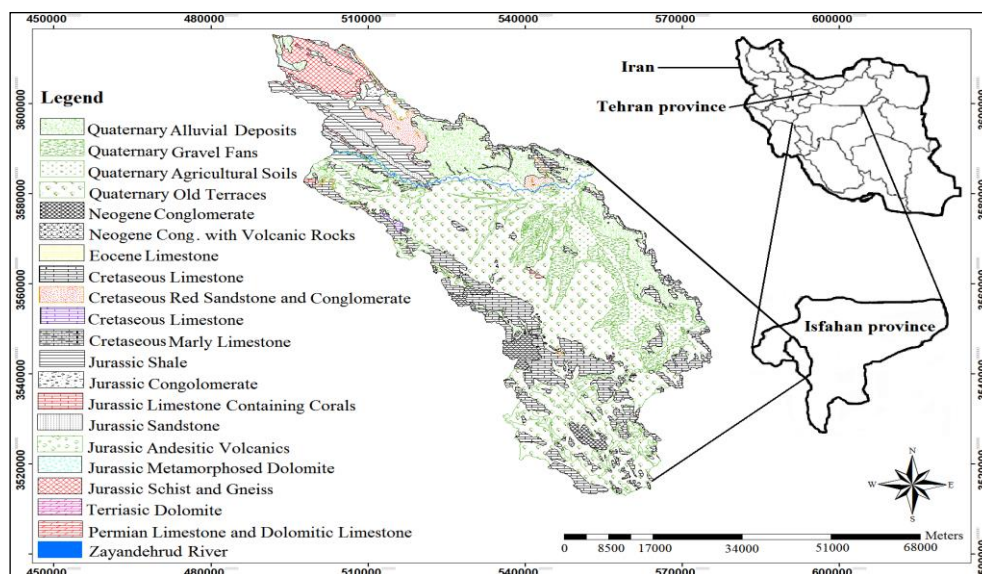
که $m_1^r, m_2^r, \dots, m_k^r$ نشانگر خط قطع کننده توابع عضویت برای متغیرهای ورودی طبق قوانین تعریف شده برای مدل، R^r احتمال وقوع است که برای سادگی برابر واحد در نظر گرفته می‌شود، Δ نیز مخفف عملگر حداقل می‌باشد

۳- خروجی نهایی y برای n پارامتر برابر متوسط همه y ها است

$$y = \frac{\sum_{r=1}^n r_r \times y_r}{\sum_{r=1}^n r_r}$$

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد بررسی در جنوب غرب استان اصفهان، در فاصله ۳۲ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۱ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۷ طول شرقی واقع است و ۱۱۷۰ کیلومتر مربع از دشت لنجان را شامل می‌شود. نهشته‌های موجود در زیرحوضه لنجان مربوط به دوره‌های پرمین تا عهد حاضر است. شیل‌های ژوراسیک و سنگ آهک ضخیم لایه کرتاسه پایین مهم‌ترین رخنمون‌های ارتفاعات دشت می‌باشد. 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 می‌گردد. 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، علاوه بر نفوذ به آبخوان، برای آبیاری فضای سبز صنایع و نیز اراضی کشاورزی پایین دست مورد استفاده قرار می‌گیرد. (شکل ۱).



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

بحث و نتیجه گیری

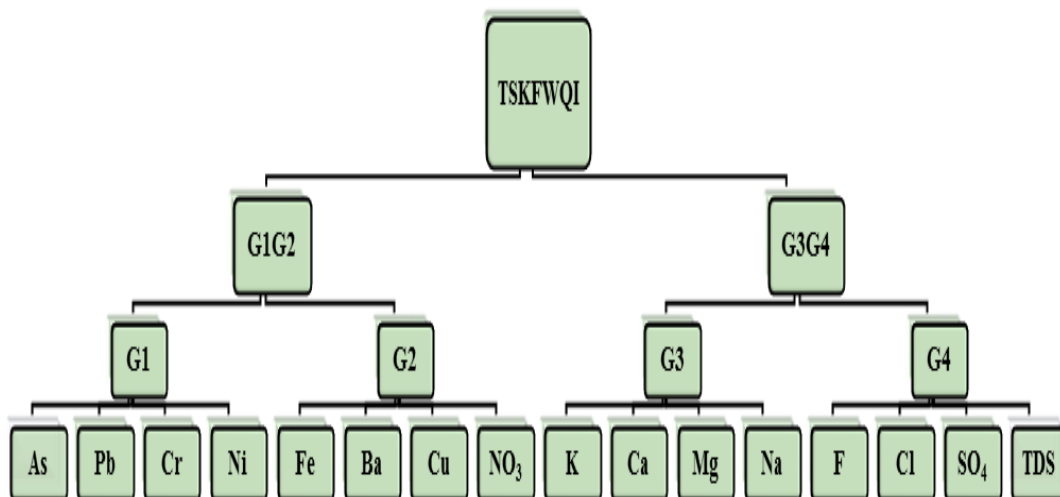
نمونه برداری در این مطالعه در سال آبی ۸۸-۸۷ انجام شده و از ۱۶ پارامتر برای ارزیابی ۷۹ نمونه استفاده شده است که این پارامترها به چهار گروه تقسیم شده‌اند. (جدول ۱ و شکل ۲)

شکل ۱. گروه اول: آرسنیک (As)، سرب (Pb)، کروم (Cr)، نیکل (Ni)
 گروه اول: آرسنیک (As)، سرب (Pb)، کروم (Cr)، نیکل (Ni)

گروه دوم: آهن (Fe)، باریم (Ba)، مس (Cu)، نیترات (NO₃)
 گروه سوم: پتاسیم (K)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، سدیم (Na)
 گروه چهارم: فلوئور (F)، کلور (Cl)، سولفات (SO₄)
 کل مواد محلول (TDS)

جدول ۱. خلاصه آماری از داده‌ها در محدوده مورد مطالعه

پارامترها	مینیمم داده ها	ماکزیمم داده ها	میانگین داده ها	انحراف معیار داده ها
As	۰/۵	۳	۰/۷۰	۰/۴۹
Pb	۱	۳۸	۲/۴۷	۵/۴۲
Cr	۰/۵	۵۹/۱	۱۰/۴۶	۱۲/۵۳
Ni	۱/۵	۵۳/۵	۱۷/۳۱	۱۲/۵۵
Fe	۲۰	۵۰۰	۲۳۷/۵۴	۱۱۶/۰۳
Ba	۲/۵	۱۴۰	۴۵/۴۲	۲۸/۹۹
Cu	۰/۰۲۵	۰/۱۶	۰/۰۴	۰/۰۳
NO ₃	۰/۹	۱۶/۱	۳/۹۹	۲/۶۲
Ca	۷/۵	۱۰۸۰	۲۹۳/۴۳	۲۱۷/۰۵
Mg	۴/۸۶	۲۷۲۱/۶	۱۰۶/۵۲	۳۰۸/۶۶
Na	۱۹	۱۴۹۲/۵	۳۷۰/۱۷	۳۶۴/۲۲
K	۰/۱	۱۱/۵	۲/۳۱	۱/۹۲
F	۰/۰۵	۲/۵۴	۰/۶۸	۰/۵۴
Cl	۱	۴۲۹۴	۲۲۱/۵۷	۵۹۸/۸۸
SO ₄	۲۰	۲۵۲۵	۶۶۰/۷۳	۴۶۸/۸۵
TDS	۲۶۲/۵	۱۱۰۵۵	۲۴۵۶/۹۲	۲۰۵۶/۵۸



شکل ۲. گروه بندی پارامترها در مدل فازی

ورودی شامل ۳ تابع عضویت می‌باشد، قوانین در نظر گرفته شده برای آن برابر با ۸۱ ($3 \times 3 \times 3$) خواهد بود. بر اساس داده‌های موجود، ۳۲۴ قانون تعیین شد. جدول (۲) برخی از قوانین استفاده شده برای هر گروه را نشان می‌دهد. در جدول (۳) نیز حدود تعیین شده برای هر پارامتر بر طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2006) مشخص شده است.

در این مدل، تعداد قوانین وابسته به تعداد پارامترهای ورودی و توابع عضویت است. اگر L تعداد توابع عضویت و n تعداد پارامترهای ورودی باشد، می‌توان تعداد قوانین R را به صورت زیر محاسبه کرد (Firat et al., 2009):

$$R = \mu(x_1)\mu(x_2)\dots\mu(x_n) \quad (4)$$

جدول ۲. برخی از قوانین تعریف شده برای پارامترهای کیفی نمونه‌های آب

	If						Then			
G1	As	Not accepted	Pb	Accepted	Cd	Accepted	Ni	Accepted	TSKFWQI	Extremely Poor
	As	Not accepted	Pb	Accepted	Cd	Accepted	Ni	Not accepted	TSKFWQI	Extremely Poor
G2	Fe	Not accepted	Zn	Accepted	Cu	Accepted	Mn	Accepted	TSKFWQI	Poor
	Fe	Not accepted	Zn	Accepted	Cu	Accepted	Mn	Not accepted	TSKFWQI	Extremely Poor
G3	K	Not accepted	Ca	Accepted	Mg	Accepted	Na	Accepted	TSKFWQI	Medium
	K	Not accepted	Ca	Accepted	Mg	Accepted	Na	Not accepted	TSKFWQI	Poor
G4	F	Not accepted	Cl	Accepted	So ₄	Accepted	No ₃	Accepted	TSKFWQI	Poor
	K	Not accepted	Ca	Accepted	So ₄	Accepted	No ₃	Not accepted	TSKFWQI	Extremely Poor

جدول ۳. حدود تعیین شده برای هر پارامتر بر طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO 2006)

گروه	پارامترها	واحد	کم (desirable)				متوسط (acceptable)				زیاد (not acceptable)			
			a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
G1	As	(µg/L)	۰	۰	۳		۰	۳	۹	۱۱	۹	۱۱	۱۰۰	۱۰۰
	Pb	(µg/L)	۰	۰	۳		۰	۳	۹	۱۱	۹	۱۱	۱۰۰	۱۰۰
	Cr	(µg/L)	۰	۰	۲۵		۰	۲۵	۵۰	۶۰	۵۰	۶۰	۱۰۰	۱۰۰
	Ni	(µg/L)	۰	۰	۴۰		۰	۴۰	۶۰	۸۰	۶۰	۸۰	۱۰۰	۱۰۰
G2	Fe	(µg/L)	۰	۳۰	۱۰۰		۳۰	۱۰۰	۲۵۰	۳۵۰	۲۵۰	۳۵۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
	Ba	(µg/L)	۰	۲۰۰	۴۰۰		۲۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۸۰۰	۶۰۰	۸۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰
	Cu	(µg/L)	۰	۸۵۰	۱۱۵۰		۸۵۰	۱۱۵۰	۱۸۰۰	۲۱۰۰	۱۸۰۰	۲۱۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰
	NO ₃	(mg/L)	۰	۰	۲۰		۰	۲۰	۴۰	۵۵	۴۰	۵۵	۳۰۰	۳۰۰
G3	Ca	(mg/L)	۰	۰	۴۰	۷۵	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰
	Mg	(mg/L)	۰	۰	۳۰	۵۰	۳۰	۵۰	۷۰	۱۰۰	۷۰	۱۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰
	Na	(mg/L)	۰	۰	۵۰	۸۰	۵۰	۸۰	۱۲۰	۲۰۰	۱۲۰	۲۰۰	۵۰۰	۵۰۰
	K	(mg/L)	۰	۰	۵	۸	۵	۸	۱۰	۱۲	۱۰	۱۲	۱۰۰	۱۰۰
G4	F	(mg/L)	۰	۰	۰/۵	۱	۰/۵	۱	۰/۲	۱/۵	۰/۲	۱/۵	۲۰	۲۰
	Cl	(mg/L)	۰	۰	۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰
	SO ₄	(mg/L)	۰	۰	۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰
	TDS	(mg/L)	۰	۰	۳۰۰	۵۰۰	۳۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰

بین ۱ تا ۱۰ تعلق می‌گیرد که وزن هر قانون (μ_i) می‌باشد. طبق فرمول ۵، مقدار نهایی کیفیت آب با توجه به همه پارامترها محاسبه می‌شود.

$$y = \frac{\sum_{r=1}^n r_r \times V_r}{\sum_{r=1}^n r_r} \quad (5)$$

برای درک بهتر روش، در جدول (۴) مثالی ارائه شده که در آن از ۴ پارامتر گروه چهارم (G4) و ۴ قانون استفاده شده است. اما در مطالعه حاضر برای ارزیابی کیفیت آب در هر گروه ۸۱ قانون به کار می‌رود.

جعبه ابزار نرم افزار متلب برای محاسبه کیفیت آب با روش تاکاگی-سوگنو به این صورت عمل می‌کند که در هر نمونه، برای هر پارامتر غلظت مشخصی وجود دارد که با توجه به آن غلظت، کیفیت نهایی آب مشخص می‌شود. غلظت پارامترها در جعبه ابزار وارد شده و با توجه به عدد وارد شده، قوانین مربوط به پارامترها که از قبل برای جعبه ابزار تعریف شده به وسیله یک خط قطع می‌شود. محل تلاقی این خط با چندضلعی‌های هر قانون، مقدار نتیجه (Consequent) را می‌دهد و با امتداد این خط بر روی محور عمود، یک عدد

جدول ۴. مثالی برای سیستم فازی تاکاگی-سوگنو برای گروه G4

قوانین	بخش شرط				بخش نتیجه y	سوزن r_i
	F	Cl	SO ₄	TDS		
R_1					۰/۴	۰/۰۵۷۶
R_2					۰/۲	۰/۱۵۳۶
R_3					۰/۹	۰/۰۸۴
R_4					۰/۶	۰/۰۸۴
	۰/۵	۴۰۰	۴۰۰	۲۰۰۰		

$$r_i = 0/4 \times 0/6 \times 0/8 \times 0/3 = 0/0657$$

$$y = \frac{0/4 \times 0/0576 + 0/2 \times 0/1536 + 0/9 \times 0/084 + 0/6 \times 0/084}{0/0576 + 0/1536 + 0/084 + 0/084} = 0/46$$

در جدول (۶) نتایج مربوط به آنالیز کیفیت نمونه‌های بررسی شده به روش تاکاگی-سوگنو ارائه شده است. در این جدول علاوه بر نتایج نهایی، پارامترهایی که غلظتی بیشتر از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) دارند به منظور مقایسه بهتر نمونه‌ها ذکر گردیده است.

مقدار کیفیت آب در این مثال ۰/۴۶ محاسبه شد. با توجه به جدول (۵) که طبقه‌بندی کیفیت آب را برای روش تاکاگی-سوگنو نشان می‌دهد، کیفیت آب در این مثال، متوسط است.

جدول ۵. حدود تقسیم‌بندی با روش فازی تاکاگی-سوگنو

کیفیت آب	TSKFWQI	Rank
کیفیت عالی	۰/۸۱-۱	۱۲
کیفیت خوب	۰/۶۱-۰/۸	۱۹
کیفیت متوسط	۰/۴۱-۰/۶	۲۷
کیفیت ضعیف	۰/۲۱-۰/۴	۱۵
کیفیت خیلی ضعیف	۰-۰/۲	۶

جدول ۶. نتایج نهایی آنالیز کیفیت نمونه های بررسی شده به روش تاکاگی- سوگنو

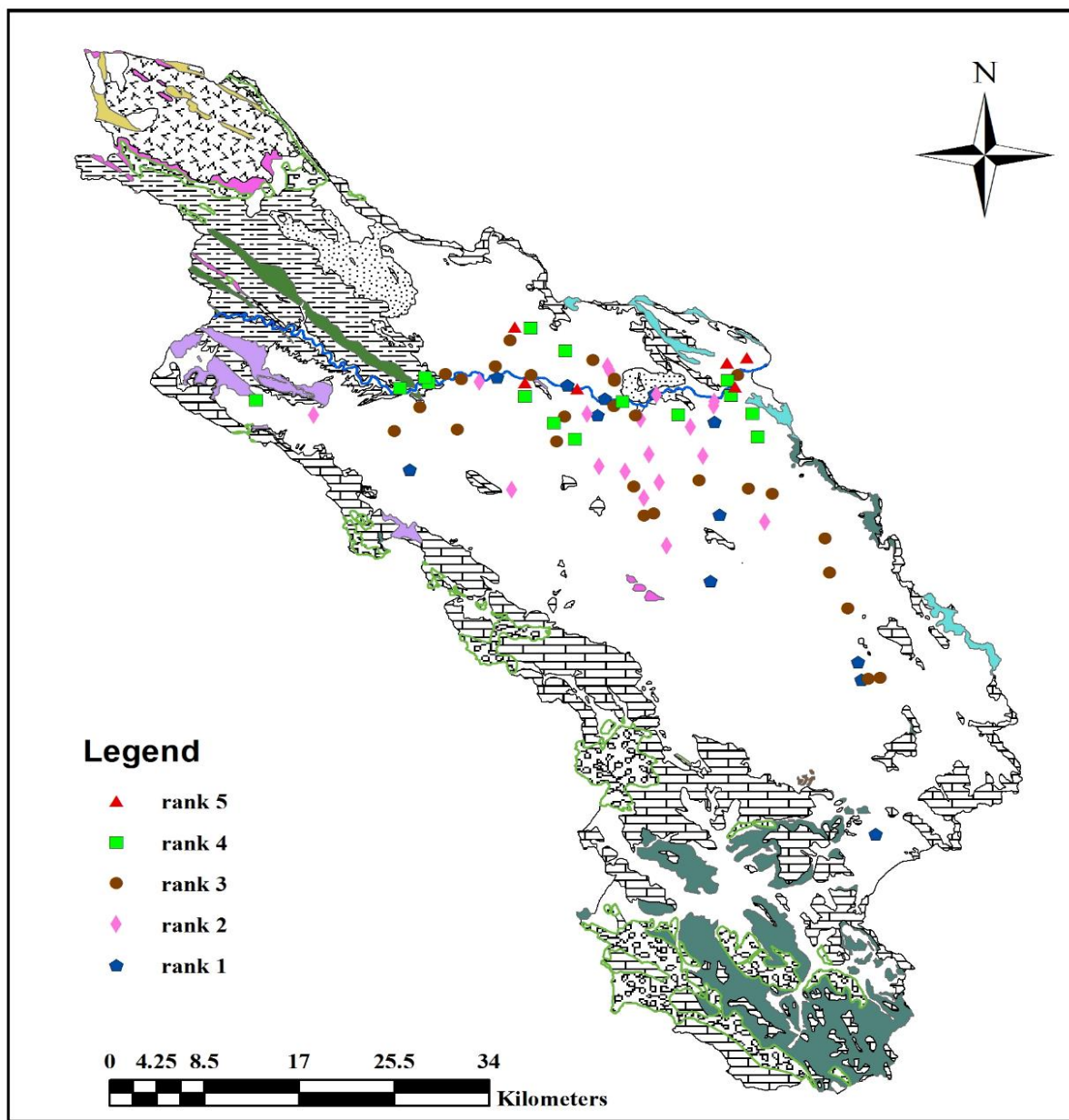
نمونه	پارامترهای با غلظت بیشتر از حد استاندارد	TSKFWQI	رتبه	نمونه	پارامترهای با غلظت بیشتر از حد استاندارد	TSKFWQI	رتبه
۱	Fe	۱	۱	۴۱	Ca,SO4,TDS	۰/۵۷۱	۳
۲	-	۰/۹	۱	۴۲	Pb,Fe	۰/۲	۵
۳	Na,SO4,TDS	۰/۵۳۳	۳	۴۳	Fe,Ca,SO4	۰/۷	۲
۴	Mg,SO4,TDS	۰/۴۲	۳	۴۴	Fe,Ca,SO4,TDS	۰/۵	۳
۵	SO4	۰/۹	۱	۴۵	Fe,Na,F	۰/۵	۳
۶	Ca,Na,SO4,TDS	۰/۵	۳	۴۶	Ca,SO4	۰/۷	۲
۷	Na,TDS	۰/۹۳۳	۱	۴۷	Ca,Mg	۰/۷	۲
۸	Ca,Na,SO4,TDS	۰/۵۳۳	۳	۴۸	-	۱	۱
۹	Ca,SO4	۰/۵	۳	۴۹	Fe,Ca,Na,TDS	۰/۷	۲
۱۰	SO4	۰/۸	۲	۵۰	Ca,Mg,TDS	۰/۸	۲
۱۱	Fe,Na	۰/۹	۱	۵۱	Ca,Na,Cl,SO4,TDS	۰/۴	۴
۱۲	Fe,Mg,SO4	۰/۸	۲	۵۲	Fe,Na,SO4,TDS	۰/۶	۳
۱۳	Fe,Ca,Na,SO4,TDS	۰/۵	۳	۵۳	Ca,Na,TDS	۰/۸	۲
۱۴	SO4	۰/۸	۲	۵۴	Ca,Mg,Na,SO4	۰/۴	۴
۱۵	Ca,Na,SO4,TDS	۰/۵	۳	۵۵	-	۱	۱
۱۶	Ca,Na,SO4,TDS	۰/۵	۳	۵۶	Ca,SO4	۰/۷	۲
۱۷	Ca,Na,SO4,TDS	۰/۵۳۳	۳	۵۷	Ca,SO4	۰/۹	۱
۱۸	Ca,SO4	۰/۸	۲	۵۸	Ca,Na,Cl,TDS	۰/۸	۲
۱۹	Ca,Na,SO4,TDS	۰/۵۳۳	۳	۵۹	Ca,SO4	۰/۸	۲
۲۰	Fe,Ca,Mg,Na,SO4,TDS	۰/۴	۴	۶۰	Ca,Na,SO4,TDS	۰/۵۳۳	۳
۲۱	Ca,SO4,TDS	۰/۵	۳	۶۱	Ca,Na,Cl,SO4,TDS	۰/۴	۴
۲۲	Na,SO4	۰/۵	۳	۶۲	SO4,TDS	۰/۴	۴
۲۳	Ca,Mg,Na,SO4,TDS	۰/۴	۴	۶۳	Ca,Na,SO4,TDS	۰/۴۰۵	۴
۲۴	Fe,Ca,Mg,Na,SO4,TDS	۰/۴	۴	۶۴	Na,F,Cl,TDS	۰/۴	۴
۲۵	Ca,Na,SO4,TDS	۰/۵۳۳	۳	۶۵	Ca,Na,SO4,TDS	۰/۴	۴
۲۶	Ca,Na,TDS	۰/۸	۲	۶۶	Pb,Fe,Ca,SO4	۰/۲	۵
۲۷	Ca,TDS	۰/۸	۲	۶۷	Ca,Mg,SO4	۰/۷	۲
۲۸	Na	۰/۹	۱	۶۸	Na,F,TDS	۰/۵	۳
۲۹	Ca,SO4	۰/۴	۴	۶۹	Ca,Na,Cl,SO4,TDS	۰/۴	۴
۳۰	Ca,SO4	۰/۷	۲	۷۰	-	۱	۱
۳۱	-	۱	۱	۷۱	Fe,TDS	۰/۵	۳
۳۲	Pb,Na	۰/۲	۵	۷۲	Mg,Na,TDS	۰/۵	۳
۳۳	Pb,Ca,Mg,Na,SO4,TDS	۰/۲	۵	۷۳	Fe,Na,SO4,TDS	۰/۶	۳
۳۴	-	۱	۱	۷۴	Na,SO4,TDS	۰/۵	۳
۳۵	Fe,Ca,Na,SO4	۰/۵	۳	۷۵	Ca,SO4	۰/۷	۲
۳۶	Mg,Na,F,SO4,TDS	۰/۳۳۳	۴	۷۶	Ca,Na,F,SO4,TDS	۰/۴	۴
۳۷	Ca,Na,SO4,TDS	۰/۵	۳	۷۷	Fe,Na,SO4,TDS	۰/۶	۲
۳۸	Na,F,TDS	۰/۵	۳	۷۸	Fe,Ca,Na,F,SO4,TDS	۰/۴	۴
۳۹	Ca,SO4	۰/۸	۲	۷۹	Cr,Na,SO4,TDS	۰/۲	۵
۴۰	Pb,Na,TDS	۰/۲	۵				

می‌دهد.

حداکثر تعداد پارامتر غیرمجاز، در نمونه‌های شماره ۲۰، ۲۴، ۳۳، ۷۸ قرار دارند که سهم هر نمونه ۶ پارامتر با غلظت بیشتر از حد استاندارد است و نمونه‌های ۲۰، ۲۴ و ۷۸ کیفیت ضعیف و ۳۳ کیفیت خیلی ضعیف دارد. از مجموعه نمونه‌های دشت لنجان، ۱۲ نمونه کیفیت عالی (رتبه ۱) جهت شرب دارند که در بین آن‌ها، نمونه‌های ۲، ۳۱، ۳۴، ۴۸، ۵۵ و ۷۰ دارای پارامترهای با غلظت بالاتر از حد مجاز نیستند. در ۶ نمونه دیگر این مجموعه، پارامترهای با غلظت بیشتر از حد استاندارد مشاهده می‌شود که با توجه به جدول (۶)، در نمونه ۱ Fe، در نمونه ۵ SO₄، در نمونه ۷ Na و TDS، در نمونه ۲۸ Na، و در نمونه ۵۷ Ca و SO₄ دارای غلظت بالاتر از حد مجاز هستند. با توجه به این‌که غلظت این پارامترها در نمونه‌های بیان شده به صورت جزئی از حدود استاندارد گذشته است، بنابراین در روش تاکاگی-سوگنو، این نمونه‌ها دارای کیفیت عالی هستند.

پس از بررسی نمونه‌ها مشخص شد که از مجموع نمونه‌ها، ۱۲ نمونه (۱۷/۱۵٪) کیفیت عالی، ۱۹ نمونه (۲۴/۰۵٪) کیفیت خوب، ۲۷ نمونه (۳۴/۱۷٪) کیفیت متوسط، ۱۵ نمونه (۱۸/۹۸٪) کیفیت ضعیف و ۶ نمونه (۷/۵۹٪) کیفیت خیلی ضعیف داشتند. که در شکل (۳) موقعیت گروه‌های کیفی نشان داده شده است. نمونه‌های شماره ۳۲، ۳۳، ۴۰، ۴۲، ۶۶، ۷۹ دارای بدترین کیفیت می‌باشند. در این نمونه‌ها در میان عناصر با غلظت بالاتر از حد استاندارد عناصر سنگین سمی وجود دارد.

در هر دو نمونه‌ی شماره ۲۹ و ۳۰، غلظت Ca و SO₄ بیشتر از حد استاندارد می‌باشد، ولی نمونه ۲۹ دارای کیفیت ضعیف (رتبه ۴) و نمونه ۳۰ دارای کیفیت خوب (رتبه ۲) است. غلظت Ca و SO₄ در نمونه ۲۹ به ترتیب ۸۰۰ mg/l و ۱۲۱۰ mg/l و در نمونه ۳۰ به ترتیب ۲۰۸ mg/l و ۶۱۰ mg/l می‌باشد؛ بنابراین، این اختلاف در برآورد کیفیت به دلیل میزان غلظت این عناصر است که در نمونه ۲۹ غلظت Ca، حدود ۴ برابر و SO₄ در حدود ۲ برابر نمونه ۳۰ است و روش تاکاگی-سوگنو این اختلاف را به خوبی نشان



شکل ۳. موقعیت نمونه‌های با کیفیت مختلف

مانند نیترات (NO_3) و فلوئور (F) وزن بیشتری را در قانونها نسبت به دیگر پارامترها به خود اختصاص می دهند به همین دلیل قوانین فازی باید بر طبق نظر متخصص به مدل وارد شود. با وارد کردن مقادیر مربوط به پارامترهای کیفی برای هر نمونه، کیفیت آب به روش تاکاگی-سوگو محاسبه گردید و در نتایج مشخص شد نمونه هایی که بدترین کیفیت (رتبه ۵) را دارند در پارامترهای کیفی دارای عناصر سنگین سمی با غلظت های بیشتر از حد استاندارد می باشند. با توجه به نتایج این مطالعه می توان گفت که مانند روش ممدانی، روش تاکاگی-سوگو نیز در ارزیابی کیفیت آب خصوصا در سایت های صنعتی یا مناطقی که امکان حضور عناصر سمی سنگین وجود دارد می تواند کاربرد داشته باشد.

مطالعه حاضر با هدف معرفی روش ارزیابی کیفی فازی، روش تاکاگی-سوگو در تعیین کیفیت آب زیرزمینی به لحاظ شرب انجام شد. در این روش برای هر یک از پارامترهای کیفی حدود فازی تعیین شد و با توجه به حدود، قوانین فازی برای مدل تعریف گردید. تعریف قوانین فازی در قالب وزن دهی به پارامترهای کیفی صورت می گیرد، به این صورت که در قانونهایی که عناصر سنگین سمی حضور دارند کیفیت نهایی آب، بدون در نظر گرفتن مطلوب یا نامطلوب بودن دیگر پارامترها، غیر قابل قبول تعریف می شود و در قانونهایی که این عناصر حضور ندارند غلظت تمام پارامترها در برآورد کیفیت نهایی آب تاثیرگذار است و با توجه به این نکته عناصر سنگین و پارامترهای خطرناک

منابع

- صابری، ا. رضایی، م. دشتی، م. ۱۳۹۲، ارزیابی کاربرد سیستم استنتاج فازی ممدانی در تحلیل کیفیت آب زیرزمینی، مطالعه موردی. آبخوان طبس، مهندسی آب و محیط زیست ایران، دوره ۱، شماره ۱، ۲۵-۳۴
- رضایی، م. امیری، و. ۱۳۹۲، ارزیابی تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت لنجان با استفاده از تحلیل عاملی ترکیب شده با تئوری انتروپی اطلاعات، محیط شناسی، سال سی نهم، ۳۳-۴۴
- نخعی، م. ودیعتی، م. ۱۳۹۱، تجزیه و تحلیل فازی آب زیرزمینی استان تهران. فصلنامه زمین شناسی ایران، سال ۶، شماره ۲۳، ۳۷-۴۶
- Altunkaynak .A., 2005, Water Consumption Prediction of Istanbul City by Using Fuzzy Logic Approach, Water Resources Management, 19: 641-654
- Castellano.G., L., González., Santandera. J., Laraa. A., Torrens. F., 2013, Classification of flavonoid compounds by using entropy of information theory, Photochemistry, 93:182-191
- Chang. N., Chen. H.W., King. S. K., 2001, Identification of river water quality using the fuzzy synthetic evaluation approach, Journal of Environmental Management, 63:293-305.
- Cude. C. O., 2001, Water quality index: a tool for evaluating water quality management effectiveness, Journal of Water Resource, Assoc, 37:125-137.
- Dahiya. S, Datta. D., Kushwaha, H. S., 2005, A fuzzy synthetic evaluation approach for assessment of physico-chemical quality of groundwater for drinking purposes, Environmental Geology, 8 : 158-165.
- Despande. A. W., Raj. D. V., Khanna. P., 1996 (a), Fuzzy description of river water quality, Paper for International Conference EUFIT
- Despande. A. W., Raj. D. V., Khanna. P., 1996 (b), Agreement Index for water consumption, Paper for International Conference EUFIT.
- Firat. M., Turan. M., Yurdusev. M. A., 2009, Comparative analysis of fuzzy for inference systems for water consumption time series prediction, Journal of Hydrology, 5 Vol. 374, pp. 235-241.
- Hamed. G. H., Mahvia. A. H., Nabizadeha. R., Arabalibeikd. H., Yunesiana. M., Sowlatf. M. H., 2012, a novel approach in water quality assessment based on fuzzy logic, Journal of Environmental Management, 112(15): 87-95.
- Karmakar. S., Mujumdar. P., 2006, Grey fuzzy optimization model for water quality management of a river system, Advances in Water Resources, 29, 1088-1105.
- Korda. M., Asghari Moghaddam. A., 2014, spatial analysis of Ardabil plain aquifer potable groundwater using fuzzy logic, Journal of King Saud University Science, 26(2):129-140.
- Lermontova. A., Yokoyamab. L., Lermontovc. M., Augusta Soares Machadod. M., 2009. River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil, Ecological Indicators, 9(6):1188-1197.
- Liou. S., Lo. S., Wang. S. A., 2004, Generalized water quality index for Taiwan, Environmental Monitoring Assessment, 96:35-52.
- Ocampo-Duquea. W., Osorioa. C., Piambaa. C., Schuhmacherb. M., Domingoc. J. L, 2013, Water quality analysis in rivers with non-parametric probability distributions and fuzzy inference systems: Application to the Cauca River, Colombia Environment International, 52:17-28
- Piplani. R., Wetjens. D., 2007, Evaluation of entropy-based dispatching in flexible manufacturing systems, European Journal of Operational Research, 176, 317-331.
- Saberi Nasr. A., Rezaei. M., Dashti. M., Groundwater contamination analysis using Fuzzy Water Quality index (FWQI): Yazd province, Iran., Journal of Geopersia 3 (1), 2013, P. 47-55
- Said. A., Stevens. D., Selke. G., 2004, an innovative index for evaluating water quality in streams, Environmental Management, 34:406-414.

- Sargaonkar. A., Deshpande. V., 2003, Development of an Overall Index of Pollution for Surface Water Based on a General Classification Scheme in Indian Context, *Environmental Monitoring and Assessment*, 89(1):43-67.
- Shen. G. Q., Lu. Y. T., Wang. M. N., Sun. Y. Q., 2005, Status and fuzzy comprehensive assessment of combined heavy metal and organo-chlorine pesticide pollution in the Taihu Lake region of China, *Journal of Environmental Management*, 76(4), 355-362.
- Shuiabi. E., Thomson. V., Bhuiyan. N., 2005, Entropy as a measure of operational flexibility, *European Journal of Operational Research*, 165, 696-707.
- Silvert. W., 2000, Fuzzy indices of environmental conditions, *Ecological Modeling*, 130:111-119.
- Takagi. T., Sugeno. M., Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control, *IEEE Transitional System., Man, Cyber*, vol. 15, pp. 116-132, 1985.
- Wang. H. Y., 2002, Assessment and prediction of overall environmental quality of Zhuzhou City, Hunan Province, China, *Journal of Environmental Management*, 66(3), 329-340.
- Zou. Z. H., Yun. Y., Sun. J. N., 2006, Entropy method for determination of weight of evaluating in fuzzy synthetic evaluation for water quality assessment indicators, *Journal of Environmental Sciences*, 18(5), 1020-1023.