



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی



ارزیابی کیفیت آب با استفاده از روش TOPSIS در تالاب بین المللی انزلی

مریم فلاح^{۱*}، احمد رضا پیرعلی زفره ئی^۲، سیدعلی اکبرهدایتی^۲

۱- گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- گروه تولید و بهره برداری آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

اطلاعات مقاله:	چکیده
تاریخ دریافت: ۹۷/۰۱/۲۱	زمینه و هدف: با توجه به آسیب پذیر بودن منابع آبی، کنترل و کیفیت آبهای سطحی یکی از موارد
تاریخ ویرایش: ۹۷/۰۴/۱۶	کلیدی در برنامه های حفظ محیط زیست است. تالاب انزلی در سال های اخیر در معرض تهدیدات
تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۴/۱۹	متعدد از جمله آلاینده های محیطی بوده است. TOPSIS روشی کارآمد و قابل اعتماد جهت ارزیابی
تاریخ انتشار: ۹۷/۰۶/۲۶	کیفیت منابع آبی است.
	روش بررسی: به منظور ارزیابی وضعیت کیفیت آب، پارامترهای اکسیژن خواهی بیوشیمیایی،
	اکسیژن محلول، دمای آب، اسیدیته، کدورت، کل مواد جامد محلول، فسفات، نیتрат و کلیفرم
	مدفوعی در تالاب بین المللی انزلی بصورت فصلی در ۱۰ ایستگاه در سال ۱۳۹۳ اندازه گیری شد و
	وضعیت کیفیت آب بوسیله روش TOPSIS مورد ارزیابی قرار گرفت.
	یافته ها: بیشترین مقدار BOD_5 ، فسفات، دما و کلیفرم مدفوعی در ایستگاه ۸ اندازه گیری شد.
	مقایسه مقادیر TOPSIS در ایستگاه های مختلف به ترتیب حداقل (۰/۳۳۹) و حداکثر (۰/۶۸۹)
	مقدار را در ایستگاه های ۵ و ۸ نشان داد. براساس نتایج ایستگاه ۵ (سرخانکل) بهترین وضعیت کیفی
	آب و ایستگاه ۸ (پیربازار) کمترین کیفی آب را داشت. همچنین نتایج فصلی مقادیر TOPSIS نشان
	داد که بیشترین مقدار (۰/۷۴۲) در فصل بهار یافت شد.
	نتیجه گیری: تخلیه انواع پساب خانگی، صنعتی و کشاورزی در تالاب از مهمترین عوامل کاهش
	کیفیت آب می توان ذکر کرد. نتایج این تحقیق نشان داد روش TOPSIS تغییرات کیفی منابع
	آبی را به وضوح نشان می دهد، بر این اساس تالاب بین المللی انزلی دارای کیفیت آب متوسط است.

واژگان کلیدی: آلودگی، روش تصمیم گیری
چند معیاره، کیفیت آب، تالاب بین المللی
انزلی

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

Maryam.fallah85@gmail.com

مقدمه

بسیاری از اکولوژیست‌ها معتقدند که ارزش تالاب‌ها و اهمیت و فوائد آن به درستی شناسایی نشده است. مطالعات ارزش اقتصادی تالاب‌ها نشانگر آن است که یک تالاب در شرایط مساوی حدود ۱۰ برابر جنگل‌ها و ۲۰۰ برابر زمین‌های زراعی ارزش اقتصادی دارد. علاوه بر آن تنظیم آب و هوا، جلوگیری از سیل، حفاظت از تنوع گیاهی و جانوری، زیبایی و جاذبه‌های بصری ذاتی تالاب، جاذبه‌های توریستی و ایجاد فضایی برای زندگی پرندگان مهاجر و مکانی غنی برای بررسی‌های تحقیقاتی و علمی متخصصین و دانشمندان از مهمترین موضوعات یک تالاب است (۱). با توجه به اینکه کنترل و کیفیت آب‌های سطحی یکی از موارد کلیدی در برنامه‌های حفظ محیط زیست در بسیاری از کشورهاست و از سوی دیگر امروزه بسیاری از رودخانه‌ها و تالاب‌ها به بستری جهت انتقال پساب‌ها و پسماندها تبدیل شده‌اند و منابع آلوده کننده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای بر افت کیفیت آنها تاثیر می‌گذارند (۲). آگاهی از کیفیت منابع آب یکی از نیازمندی‌های مهم در برنامه‌ریزی و توسعه منابع آب و حفاظت و کنترل آنها است. هدف اصلی برنامه‌های پایش و نظارت کیفیت آب‌های سطحی، در حالت کلی جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز از کیفیت موجود منابع آب سطحی به منظور کاربرد در برنامه‌ریزی و تخصیص منابع آب برای مصارف گوناگون و همچنین تدوین برنامه‌های کلان مدیریت حوضه‌های آبریز و نیز برنامه‌های مدیریت زیست محیطی و کنترل آلودگی‌ها است (۳).

تالاب بین‌المللی انزلی در سواحل جنوبی دریای خزر در استان گیلان قرار دارد، مساحت حوزه آبخیز این تالاب 3610 km^2 و در حدود ۲ درصد حوزه آبخیز دریای خزر را تشکیل می‌دهد (۴). این تالاب در سال ۱۳۵۴ در فهرست تالاب‌های بین‌المللی کنوانسیون رامسر به ثبت رسید. همچنین سازمان بین‌المللی حیات پرندگان، این تالاب را به عنوان زیستگاهی با اهمیت برای پرندگان تشخیص داده است (۵). تالاب بین‌المللی انزلی هم اکنون در فهرست سیاه تالاب‌های مونتر (Montreux) قرار گرفته است و براساس آن کشور ایران موظف به احیای مجدد سایت و جلوگیری از تغییرات اکولوژیک آن است (۶). این تالاب

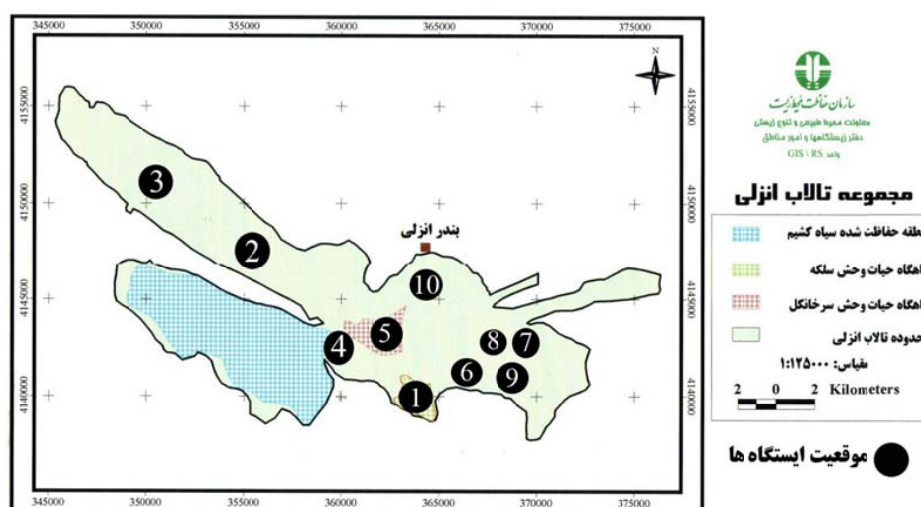
تحت تاثیر تنش‌های مختلف از قبیل: نوسان سطح آب دریا، فعالیت‌های انسانی، حضور گونه‌های غیربومی و تغذیه‌گرایی که از عوامل اولیه تخریب تالاب است، قرار دارد (۷). روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (Multiple criteria decision making (MCDM)) از دهه ۱۹۸۰ به بعد کاربرد وسیعی در زمینه‌های مختلف مهندسی و مدیریت داشته‌اند. از آن جمله می‌توان کاربرد آن را در مدیریت جامع آبخیز، برنامه‌ریزی سیستم جامع منابع آب و مدیریت منابع آب (۸) نام برد. تصمیم‌گیری چند شاخصه از مدل‌های ریاضی است و به رویکردی از حل مسئله اشاره دارد که به منظور انتخاب یک گزینه از تعداد محدودی گزینه، مورد استفاده قرار می‌گیرد (۹). روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به سهولت کاربرد معروف هستند. تکنیک TOPSIS نخستین بار در سال ۱۹۸۱ توسط Yoon و Hwang معرفی شد (۱۰).

TOPSIS در سال‌های اخیر به‌طور فزاینده‌ای جهت ارزیابی کیفیت آب مورد استفاده قرار گرفته است (۱۱). مطالعات متعددی در این زمینه صورت گرفته است که می‌توان به مطالعات Li و همکاران (۲۰۱۸) در دریاچه Tai و مخزن Shitoukoumen چین، Chung و همکاران (۲۰۱۷) در رودخانه Han کره جنوبی، Li و همکاران (۲۰۱۳) در حوزه آبخیز Weining چین، Mazaheri و همکاران (۲۰۱۳) در رودخانه زرین گل استان گلستان اشاره کرد (۱۳-۱۱). بنابراین هدف این مطالعه، با توجه به آسیب پذیر بودن منابع آبی کشور از جمله تالاب بین‌المللی انزلی، ارزیابی کیفیت آب این تالاب با استفاده از روش کارآمد TOPSIS است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

تالاب انزلی در جنوب غرب دریای خزر و در استان گیلان در طول جغرافیایی $49^{\circ}14'20''$ تا $49^{\circ}36'45''$ شرقی و عرض جغرافیایی $37^{\circ}22'30''$ تا $37^{\circ}32'8''$ شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). مساحت آن در سال ۱۳۸۵ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS-Pan، 168 km^2 برآورد شده است (۶).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های واقع در تالاب انزلی

۱). پارامترهای درجه حرارت آب، اسیدیته، اکسیژن محلول، نیترات و فسفات، BOD_5 ، کدورت و کل جامدات محلول با استفاده از روش استاندارد (APHA) مربوطه اندازه‌گیری گردید (۱۴).

نمونه‌برداری در سال ۱۳۹۳ دو نوبت در هر فصل به فاصله ۴۵ روز با سه تکرار از فروردین ماه ۱۳۹۳ تا اسفند ماه ۱۳۹۳ از ۱۰ ایستگاه هندخاله، تالاب غرب (ماه‌روژه)، تالاب غرب (آبکنار)، سیاه‌درویشان، تالاب مرکزی، زیرپل بندرانزلی، تالاب شرق، خروجی تالاب شرق، پیربازار و نوخاله صورت گرفت (جدول

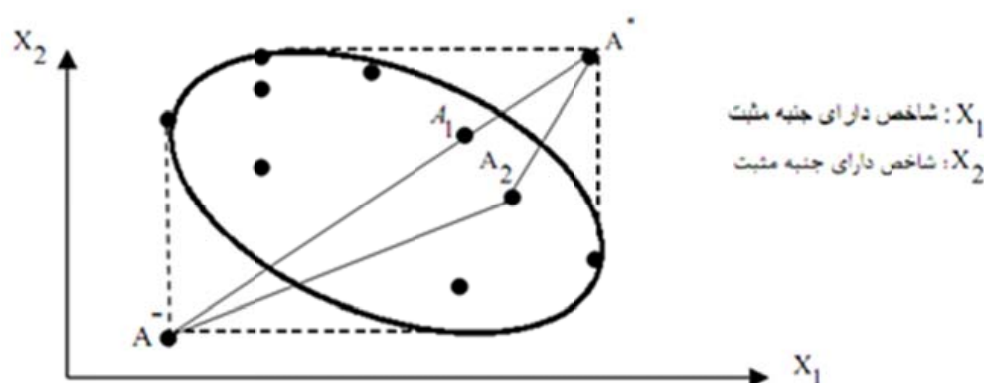
جدول ۱- طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های کیفیت سنجی تالاب انزلی

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	هندخاله	۴۹° ۲۷' ۱۴"	۳۷° ۲۳' ۵۴"
۲	تالاب غرب (ماه‌روژه)	۴۹° ۲۴' ۳۵"	۳۷° ۲۶' ۳۶"
۳	تالاب غرب (آبکنار)	۴۹° ۲۴' ۲۰"	۳۷° ۲۶' ۳۵"
۴	سیاه‌درویشان	۴۹° ۲۵' ۲۹"	۳۷° ۲۶' ۹"
۵	سرخانکل	۴۹° ۲۵' ۴۲"	۳۷° ۲۳' ۵۳"
۶	تالاب شرق	۴۹° ۳۰' ۱۵"	۳۷° ۲۵' ۱۷"
۷	خروجی تالاب شرق	۴۹° ۲۹' ۲۶"	۳۷° ۲۵' ۲۶"
۸	پیربازار	۴۹° ۳۰' ۷"	۳۷° ۲۴' ۱۱"
۹	نوخاله	۴۹° ۳۰' ۱۱"	۳۷° ۲۴' ۱۲"
۱۰	زیرپل بندر انزلی	۴۹° ۲۷' ۵۴"	۳۷° ۲۷' ۴۸"

محاسبه TOPSIS

بنیان و مایه اصلی TOPSIS محاسبه فاصله اقلیدسی گزینه‌های تصمیم‌گیری از راه‌های ایده آل مثبت و منفی است (۱۰). در این روش شاخصی تحت عنوان نزدیکی گزینه نام به راه حل ایده آل (d_i^+ یا d_i^-)، معرفی می‌گردد و گزینه‌ای که دارای بیشترین d_i^+ است انتخاب می‌شود (۱۵). گزینه برتر گزینه‌ای است که کمترین فاصله را از راه حل ایده آل مثبت و بیشترین فاصله را از راه حل ایده آل منفی داشته باشد (۱۶). در ادامه، جهت تجزیه و تحلیل و اولویت بندی مهمترین عوامل کیفیت آب تالاب انزلی از روش TOPSIS استفاده شد. در این روش m گزینه به وسیله n شاخص مورد

ارزیابی قرار می‌گیرند و هر مساله را می‌توان به‌عنوان یک سیستم هندسی شامل m نقطه در یک فضای n بعدی در نظر گرفت (۱۷). این تکنیک، بر این مفهوم بنا شده است، که گزینه انتخابی باید کمترین فاصله را با راه حل ایده آل مثبت (بهترین حالت ممکن، A_i^+) و بیشترین فاصله را با راه حل ایده آل منفی (بدترین حالت ممکن، A_i^-) داشته باشد (۱۸). از نقطه نظر هندسی یک تقریب آن است که گزینه‌ای در نظر گرفته شود که مینیمم فاصله را از راه حل ایده آل مثبت و دورترین فاصله از راه حل ایده آل منفی داشته باشد (۱۹). در شکل ۲ به‌عنوان مثال گزینه A_1 در فاصله کوتاه‌تری از هر دو راه حل ایده آل مثبت و ایده آل منفی نسبت به گزینه دیگر است.



شکل ۲- فاصله اقلیدسی راه حل ایده آل مثبت و راه حل ایده آل منفی در فضای دو بعدی

به منظور محاسبه اولویت بندی عوامل مؤثر به روش TOPSIS گام‌های زیر انجام شد:

گام ۱، وزن دادن به ماتریس: مجموعه‌ای از وزن‌ها $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ که $\sum w_j = 1$ است و به‌وسیله AHP محاسبه شد (۲۰). جدول ۲، نشان دهنده وزن در نظر گرفته شده برای هر شاخص است (معادله ۱).

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_1 & X_2 & \dots & X_j & \dots & X_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1j} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2j} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{i1} & X_{i2} & \dots & X_{ij} & \dots & X_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mj} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

بطوری که $J_1 = \{1, 2, \dots, n \mid \text{به ازا عناصر مثبت شاخص ها}\}$ و $J_2 = \{1, 2, \dots, n \mid \text{به ازا عناصر منفی شاخص ها}\}$ گام ۴، محاسبه اندازه فاصله: اندازه فاصله براساس فرم اقلیدسی به ازا راه حل ایده آل منفی و گزینه مثبت و همین اندازه را به ازا راه حل ایده آل مثبت و گزینه منفی بصورت زیر به دست آمد (معادله ۵):

$$d_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (V_{ij} - v_{ij}^+)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, (i=1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

$$d_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (V_{ij} - v_{ij}^-)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, (i=1, 2, \dots, m)$$

گام ۵، محاسبه نزدیکی نسبی A_i به راه حل ایده آل مثبت به صورت زیر تعریف می شود (معادله ۶):

$$C_i = \frac{d_i^-}{(d_i^- + d_i^+)}, (i=1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

چنانچه $A_i = A_i^+$ باشد، آنگاه $d_i^+ = 0$ و $C_i = 1$ می شود و در صورتی که $A_i = A_i^-$ باشد، آنگاه $d_i^- = 0$ و $C_i = 0$ خواهد شد، بنابراین هر گزینه به راه حل ایده آل نزدیک تر باشد، مقدار آن به یک نزدیک تر خواهد بود.

گام ۶، رتبه بندی گزینه ها براساس ترتیب نزولی: گزینه های موجود را براساس بیشترین اهمیت رتبه بندی گردیدند (۲۲).

آنالیز آماری

در ابتدا توزیع نرمال بودن داده ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای کیفی آب با استفاده از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA)، با سطح معنی داری ۰/۰۵، با استفاده از نرم افزار SPSS 17 تجزیه و تحلیل شد. نتایج کولموگروف-اسمیرنوف حاکی از نرمال بودن توزیع داده ها بود.

یافته ها

داده های مربوط به پارامترهای کیفیت آب در ایستگاه های مختلف در جدول ۳ آمده است.

جدول ۲- وزن های پارامترهای کیفی آب در روش TOPSIS

پارامتر	واحد	وزن
اکسیژن محلول	درصد اشباعیت	۰/۱۷
کلیفرم مدفوعی	No/100mL	۰/۱۶
pH	-	۰/۱۱
BOD ₅	mg/L	۰/۱۱
نیتрат	mg/L	۰/۱۰
فسفات	mg/L	۰/۱۰
دما	°C	۰/۱۰
کدورت	NTU	۰/۰۸
جامدات کل	mg/L	۰/۰۷

گام ۲، نرمال کردن ماتریس تصمیم: در مرحله بعد نرمال سازی با حذف تغییرات هر فاکتور صورت می گیرد (۲۱)، هر درایه از r_{ij} ماتریس تصمیم نرمال شده R از معادله ۲ به دست می آید:

$$r_{ij} = \frac{rij}{(\sum_{i=1}^m r_{ij}^2)^{\frac{1}{2}}}, (j=1, \dots, n) \quad (2)$$

سپس وزن ارزیابی شده فاکتورها با ضرب کردن در ماتریس، یک ماتریس نرمال را فراهم می کند. با ضرب کردن ستون A از ماتریس R با وزن مربوطه W_j ماتریس تصمیم نرمال شده وزن دار V به دست می آید (معادله ۳).

$$V = N_D * W_{n*n} \quad (3)$$

که در آن: W ماتریس بی مقیاس موزون و V یک ماتریس قطری از وزن های به دست آمده برای شاخص ها است.

گام ۳، تعیین راه حل ایده آل مثبت (A_i^+) و ایده آل منفی (A_i^-): دو گزینه مجازی بصورت زیر تعریف می شود (معادله ۴):

$$A^+ = \{(\max V_{ij} \mid j \in J_1) \quad (4)$$

$$(\min V_{ij} \mid j \in J_2) \mid i = 1, 2, \dots, n\}$$

$$A^- = \{(\min V_{ij} \mid j \in J_1)$$

$$(\max V_{ij} \mid j \in J_2) \mid i = 1, 2, \dots, m\}$$

جدول ۳- مقادیر پارامترهای کیفی آب در ایستگاههای مختلف (میانگین $\pm$ انحراف معیار)

کلیرم مدفوعی	جامدات کل	کدورت	دما	فسفات	نیتрат	BOD ₅	pH	اکسیژن محلول	پارامتر ایستگاه
ab ^{۶۳۴۱/۷} $\pm$ ۷۱۱/۴	bc ^{۱۹۰۶/۵} $\pm$ ۵۱/۴	a ^{۴۸/۴} $\pm$ ۱۲/۱	a ^{۱۸/۴} $\pm$ ۱/۳۱	b ^{۰/۲} $\pm$ ۰/۱	a ^{۴/۳۶} $\pm$ ۱/۰۵	a ^{۱۵/۱} $\pm$ ۲/۴	ab ^{۷/۸۸} $\pm$ ۰/۸	a ^{۹/۴۲} $\pm$ ۱/۱	۱
ab ^{۱۰۹۱/۱} $\pm$ ۴۰۱/۱	b ^{۱۸۱۵/۰۲} $\pm$ ۳۳۴/۱	a ^{۱۶/۷} $\pm$ ۱/۱	a ^{۱۸/۵} $\pm$ ۱/۰۲	ab ^{۰/۰۷} $\pm$ ۰/۰۱	a ^{۳/۵۸} $\pm$ ۰/۱	a ^{۳۵/۱۴} $\pm$ ۱	a ^{۸/۳۴} $\pm$ ۰/۷	a ^{۹/۷۶} $\pm$ ۱/۰۳	۲
ab ^{۲۲۶۷/۱۳} $\pm$ ۳۴۱/۷	a ^{۱۹۱۹/۶} $\pm$ ۶۱۲/۱	a ^{۱۸/۰۹} $\pm$ ۱/۲	a ^{۱۹/۰۱} $\pm$ ۲/۴	a ^{۰/۰۷} $\pm$ ۰/۰۰۲	a ^{۳/۳} $\pm$ ۱/۰۱	b ^{۵۰/۴} $\pm$ ۴/۳	a ^{۸/۶} $\pm$ ۱/۱۲	a ^{۸/۶۶} $\pm$ ۱/۱	۳
b ^{۴۱۱۱/۴} $\pm$ ۱۳۴۰/۱	ab ^{۱۷۱۱/۱} $\pm$ ۱۳۴/۱	a ^{۲۹/۱} $\pm$ ۱/۵	a ^{۱۸/۳} $\pm$ ۱/۹	ab ^{۰/۱۸} $\pm$ ۰/۰۹	a ^{۳/۸۸} $\pm$ ۰/۳	a ^{۱۹/۷} $\pm$ ۱/۶	ab ^{۷/۸۱} $\pm$ ۱/۷	ab ^{۹/۶} $\pm$ ۱/۰۱	۴
a ^{۱۸۱۱/۳} $\pm$ ۴۵/۳	b ^{۳۰۷۴/۰۷} $\pm$ ۴۰۱/۱	a ^{۲۶/۱} $\pm$ ۱/۰۱	a ^{۱۸/۵} $\pm$ ۱/۲۲	a ^{۰/۳} $\pm$ ۰/۰۲	a ^{۳/۴} $\pm$ ۱/۰۵	ab ^{۲۹/۳} $\pm$ ۳/۵	ab ^{۸/۵۸} $\pm$ ۱/۱	a ^{۹/۶۸} $\pm$ ۱/۲	۵
bc ^{۱۹۹۹۴۵/۱} $\pm$ ۳۵۶/۱	a ^{۸۳۵/۷} $\pm$ ۱۱۲/۱	b ^{۱۶/۹} $\pm$ ۱/۱	a ^{۱۷/۹} $\pm$ ۱/۰۳	ab ^{۰/۳۳} $\pm$ ۰/۰۷	a ^{۶/۸۶} $\pm$ ۱/۷۳	a ^{۲۷/۶} $\pm$ ۲/۱۲	ab ^{۸/۱۳} $\pm$ ۱/۰۳	b ^{۶/۷۵} $\pm$ ۱/۰۶	۶
b ^{۸۳۴۵۱/۸} $\pm$ ۱۷۶/۲	b ^{۱۰۳۴/۲} $\pm$ ۳۱۵/۵	a ^{۳۵/۳} $\pm$ ۱/۰۷	a ^{۱۷/۹} $\pm$ ۱/۵۴	b ^{۰/۶۳} $\pm$ ۰/۰۴	a ^{۵/۰۱} $\pm$ ۰/۲	c ^{۲۷/۷} $\pm$ ۳/۴	ab ^{۷/۹} $\pm$ ۱/۱	ab ^{۸/۸۱} $\pm$ ۱/۱	۷
c ^{۸۳۴۵۱/۸} $\pm$ ۱۷۶/۲	a ^{۷۶۱/۳} $\pm$ ۱۰۱/۰۲	a ^{۲۶/۱} $\pm$ ۱/۰۱	a ^{۲۱/۳} $\pm$ ۱/۰۱	c ^{۲/۰۶} $\pm$ ۰/۷	a ^{۴/۶۹} $\pm$ ۰/۹	c ^{۱۴۷/۰۳} $\pm$ ۱۱/۱	ab ^{۷/۶} $\pm$ ۱/۰۴	c ^{۴/۷} $\pm$ ۱/۱	۸
b ^{۲۴۰۱۲/۱} $\pm$ ۲۰۵۶/۱	a ^{۳۸۱/۷} $\pm$ ۷۵/۳	a ^{۳۸/۹} $\pm$ ۱/۷	a ^{۲۱/۴} $\pm$ ۱/۰۸	b ^{۰/۳۸} $\pm$ ۰/۱	a ^{۳/۷} $\pm$ ۱/۰۱	ab ^{۳۳/۸} $\pm$ ۲/۱	ab ^{۸/۰۲} $\pm$ ۱/۵	ab ^{۸/۱۶} $\pm$ ۱/۱	۹
b ^{۱۳۳۰۱۴} $\pm$ ۲۹۸۱/۰۱	c ^{۲۲۶۴/۴} $\pm$ ۳۳۸/۱	a ^{۳۶/۶} $\pm$ ۱/۲	a ^{۱۸/۱} $\pm$ ۱/۳	a ^{۰/۱۵} $\pm$ ۰/۰۲	a ^{۴/۰۷} $\pm$ ۰/۳	bc ^{۷۰/۷} $\pm$ ۱۲/۰۱	ab ^{۸/۱۲} $\pm$ ۱/۱	ab ^{۷/۷۹} $\pm$ ۱/۲	۱۰

حروف مشابه در هر ستون نشانه عدم اختلاف معنی دار بین ایستگاهها است.

مقایسه پارامترهای کیفیت آب در فصول مختلف (جدول ۵) نشان دهنده افزایش نسبی معنی دار دما، نیترات، کدورت، کلیفرم مدفوعی و فسفات در تابستان، و جامدات کل در پاییز و اکسیژن محلول در زمستان و کاهش اسیدیت در پاییز بود ($p < 0.05$). همچنین بین پارامترهای دما، اسیدیت در فصول مختلف اختلاف معنی دار دیده نشد ($p < 0.05$).

در ارتباط با نزدیکی نسبی به پاسخ ایده آل مثبت (C_i) در ایستگاه‌ها و فصول مختلف نشان داده شد که به ترتیب تابستان، زمستان، پاییز و بهار کیفیت آب از بالا به پایین رتبه بندی می‌شوند (جدول ۶).

بحث

نتایج پارامترهای کیفیت آب در ایستگاه‌های مختلف تالاب بین‌المللی انزلی نشان داد که بیشترین مقدار پارامترهای BOD_5 ، فسفات، کلیفرم مدفوعی، دما و حداقل اکسیژن محلول، اسیدیت در ایستگاه ۸ (پیربازار) اندازه گیری شده‌اند (جدول ۳). در عین حال ایستگاه ۸ (پیربازار) براساس رتبه بندی TOPSIS حداکثر مقدار نزدیکی نسبی به راه حل ایده آل مثبت (C_i) (یا بدترین شرایط کیفیت آب) را نشان

با توجه به جدول ۳، حداکثر کدورت متعلق به ایستگاه‌های ۱ و ۶ است. همچنین حداکثر مقدار BOD_5 ، فسفات، دما و کلیفرم مدفوعی در ایستگاه ۸ اندازه گیری شد. اکسیژن محلول و اسیدیت هم به ترتیب در ایستگاه ۸ کمترین مقدار خود را داشت. همچنین بیشترین نیترات و کدورت در ایستگاه ۶ و جامدات کل در ایستگاه ۱۰ اندازه گیری شد. بعضی از پارامترهای کیفیت آب اختلاف معنی داری ($p < 0.05$) بین ایستگاه‌های مختلف را نشان داد (مانند اکسیژن محلول، BOD_5 ، فسفات، کدورت، جامدات کل و کلیفرم مدفوعی). در جدول ۴، نتایج مقادیر TOPSIS در ایستگاه‌های مختلف آورده شده است. با توجه به اینکه اهداف مطالعه، محاسبه شناسایی ایستگاه‌های آلوده در تالاب بین‌المللی انزلی است، بنابراین نزدیکترین مقدار (C_i) به آلودگی آب را نشان می‌دهد (جدول ۴). حداکثر و حداقل نزدیکی نسبی به پاسخ ایده آل (C_i) (به عبارتی شناسایی نقاط آلوده)، دورترین و نزدیکترین مقدار TOPSIS به ۱، به ترتیب برای ایستگاه‌های ۸ و ۵ با مقادیر (۰/۶۸۹) و (۰/۳۳۹) محاسبه شده است. به عبارت دیگر، ایستگاه ۵ (سرخانکل) آلودگی کمتر (بهترین کیفیت آب) و ایستگاه ۸ (پیربازار) بیشترین آلودگی (کمترین کیفیت آب) را داشت (جدول ۴).

جدول ۴ - نتایج مقادیر TOPSIS در ایستگاه‌های مختلف

ایستگاه	d_i^+	d_i^-	C_i	رتبه
۱	۰/۱۲۹	۰/۰۸۶	۰/۴۰	۷
۲	۰/۱۴۰۹	۰/۰۸	۰/۳۶۴	۹
۳	۰/۱۲۶	۰/۰۷۹	۰/۳۸۶	۸
۴	۰/۱۳۲	۰/۰۹۳	۰/۴۱۱	۶
۵	۰/۱۴۸	۰/۰۷۶	۰/۳۳۹	۱۰
۶	۰/۰۸۰۳	۰/۱۱	۰/۵۷۷	۲
۷	۰/۱۱۱	۰/۰۸۸	۰/۴۴۱	۵
۸	۰/۰۶۹	۰/۱۵۳	۰/۶۸۹	۱
۹	۰/۱۰۱	۰/۰۹۶	۰/۴۸۸	۳
۱۰	۰/۰۹۹	۰/۰۹۱۵	۰/۴۷۹	۴

جدول ۵- مقادیر پارامترهای کیفی آب در فصول مختلف (میانگین $\pm$ انحراف معیار)

فصل	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
اکسیژن محلول	8.37 ± 1.51^a	6.96 ± 1.18^a	7.01 ± 1.31^a	13.00 ± 1.81^b
pH	8.01 ± 1.3^a	8.58 ± 1.5^a	7.78 ± 1.07^a	8.09 ± 1.4^a
BOD ₅	35.63 ± 3.31^a	45.81 ± 2.41^a	41.72 ± 3.01^a	53.06 ± 2.71^b
نیتрат	3.86 ± 1.01^a	5.18 ± 1.04^b	4.37 ± 1.03^a	3.16 ± 1.08^a
فسفات	0.24 ± 0.13^b	0.514 ± 0.02^a	0.512 ± 0.01^a	0.118 ± 0.41^b
دما	18.15 ± 1.71^{ab}	29.9 ± 1.17^b	16.1 ± 1.4^{ab}	8.2 ± 1.08^a
کدورت	39.61 ± 3.44^b	64.06 ± 5.1^c	20.1 ± 1.41^{ab}	19.974 ± 1.87^a
جامدات کل	377.8 ± 22.01^b	351.3 ± 63.21^a	80.9 ± 41.1^c	275.37 ± 36.1^{ab}
کلیفرم مدفوعی	23900.2 ± 1800.11^a	24300.5 ± 2150.01^a	145521.2 ± 1230.1^{ab}	102451.4 ± 1670.1^b

حروف مشابه در هر ردیف نشانه عدم اختلاف معنی‌دار بین ایستگاه‌ها است.

جدول ۶- نتایج مقادیر TOSIS در فصول مختلف تالاب انزلی

فصل	پارامتر	d_i^+	d_i^-	C_i	رتبه
بهار		0.0591	0.1705	0.742	۱
تابستان		0.174	0.12	0.408	۴
پاییز		0.107	0.164	0.604	۲
زمستان		0.136	0.159	0.539	۳

می‌دهد، بنابراین ادعای ما را در وضعیت کیفی آب تالاب تایید می‌کند (جدول ۴). همچنین ایستگاه ۵ کمترین فاصله از راه حل ایده آل مثبت یا به عبارتی بهترین حالت ممکن (d_i^+ برابر با ۰/۱۴۸)، و بیشترین فاصله از راه حل ایده آل منفی (d_i^- برابر با ۰/۰۷۶)، داشت و با توجه به اینکه نزدیکی مقدار (C_i) به ۱، آلودگی آب را نشان می‌دهد، مقدار نزدیکی نسبی به راه حل ایده آل مثبت ($C_i = 0.339$) بود و لذا کیفیت مناسب این ایستگاه را در مقایسه با ایستگاه‌های دیگر براساس نتایج TOSIS نشان داد. نتایج مطالعه Afraze (۱۹۹۶) نیز نشان داد که درصد آلودگی در رودخانه پیربازار بسیار بالاتر از رودخانه‌های دیگر بوده زیرا قسمت اعظم فعالیت‌های صنعتی

در حوزه آبخیز پیربازار متمرکز بوده و کل فاضلاب شهر رشت و پساب‌های کشاورزی محدوده آن از طریق این رودخانه به تالاب حمل می‌شود (۲۳)، به طوری که در سال ۱۹۸۷، ۹۵ ton نیترات توسط رودخانه پیربازار به تالاب حمل گردیده است (۲۴). همان‌طور که مشاهده شد با کاهش کیفیت در پارامترهای آب، همراه با افزایش پارامترهای حیاتی و موثر بر آلودگی از قبیل BOD₅ و فسفات، روند افزایش در مقادیر TOSIS دیده می‌شود. براساس رتبه بندی TOSIS ایستگاه ۶ (تالاب شرق) رتبه دوم آلودگی و نزدیکترین مقدار TOSIS به ۱ را پس از ایستگاه ۸ (پیربازار) دارد. همان‌طور که نتایج پارامترهای کیفی آب نشان داد، بیشترین نیترات در ایستگاه ۶ بود.

در مطالعه Mazaheri و همکاران (۲۰۱۳) کیفیت آب رودخانه زرین گل استان گلستان با روش TOSIS ارزیابی شد، کمترین و بیشترین مقدار نزدیکی نسبی به راه حل ایده آل به ترتیب در ایستگاه ۱ و ۵ (۰/۲۳۰ و ۰/۶۰۴) مشاهده شد که با مقادیر پارامترهای کیفیت آب در این ایستگاه‌ها مطابقت داشت، بطوری که ایستگاه ۵ بیشترین مقادیر پارامترهای موثر بر آلودگی مانند نیترات، فسفات و کلیفرم مدفوعی را داشت

دادند و از جمله عوامل موثر در وخیم‌تر شدن شرایط کیفی آب را فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و فاضلاب‌های شهری دانستند (۲۸). Hassler (۲۰۰۴) بیان نمود، که کیفیت آب رودخانه‌های کالیفرنیا تحت تاثیر توسعه کشاورزی و فعالیت‌های دامداری و دامپروری به شدت آلوده است. به طوری که این اقدامات باعث کاهش کیفیت آب اکثر رودخانه‌ها در این ایالت شده است (۲۹).

روند افزایش مقادیر TOPSIS در طول تالاب بین المللی انزلی در ایستگاه‌های واقع در ناحیه شرقی تالاب مشاهده شد، لذا می‌توان استدلال کرد که شرق تالاب بیشتر تحت تاثیر عوامل آلاینده قرار دارد. همچنین آبی که از شرق و مرکز به تالاب وارد می‌شود نسبت به حوزه غربی تالاب، سریع‌تر زهکش می‌شود (۱). مطالعات Khodaparast (۲۰۰۷)، Khosravi و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان داد که غلظت فلزات سنگین در بخش شرقی تالاب بیشتر از مناطق دیگر تالاب بوده است (۳۰، ۳۱).

با توجه به مقادیر و رتبه بندی TOPSIS، بیشترین مقادیر (C_i) بدترین حالت را از نظر کیفیت آب در فصول مختلف نشان می‌دهد، لذا فصل بهار با بیشترین (C_i برابر با ۰/۷۴۲)، آلودگی بالاتری را نسبت به سایر فصول نشان داد. به دلیل شرایط اقلیمی، بارندگی در فصل گرم کاهش می‌یابد، بنابراین با توجه به کاهش جریان آب، غلظت عوامل آلاینده افزایش می‌یابد. علاوه بر اینکه فعالیت‌های کشاورزی در فصل بهار شروع می‌شود و در تابستان ادامه می‌یابد. لذا کیفیت آب فصول گرم ممکن است بیشتر از فصول سرد تحت تاثیر قرار گیرد. این نظریه با یافته‌های سایر محققین تایید گردید، Samarghandi و همکاران (۲۰۱۳)، به منظور بررسی کیفیت آب سد مخزنی اکباتان شهرستان همدان دریاچه از شاخص کیفی NSFQI استفاده کردند و آب موجود در دریاچه در ماه‌های سرد سال کیفیت مناسب‌تری نسبت به ماه‌های گرم سال داشت (۳۲). براساس مقادیر TOPSIS و نزدیکی نسبی به راه حل ایده آل (C_i) در ایستگاه‌های مختلف (محدوده ۰/۳۳۹ - ۰/۶۸۹) و بالاترین مقدار تئوری این عامل ($C_i = 1$)، می‌توان نتیجه گرفت در مجموع تالاب بین المللی انزلی دارای کیفیت آب

(۲۵). Li و همکاران (۲۰۱۸) ۸ پارامتر آب را در دریاچه Tai و مخزن Shitoukoumen چین با استفاده از TOPSIS ارزیابی کردند. نتایج حاصل از رتبه بندی TOPSIS، افزایش آلودگی را در بخش شمالی منطقه مورد مطالعه طی سال‌های اخیر نشان داد و بخش‌های جنوبی و شرقی در رتبه‌های بعد قرار داشتند. همچنین مقایسه TOPSIS با روش‌های مرسوم بررسی کیفیت آب حاکی از کارآمدی این روش بود (۱۱). مطالعه پارامترهای سختی آب، TDS ، NH_4 ، SO_4 و F^- در حوزه آبخیز Weining چین توسط Li و همکاران (۲۰۱۳)، حساسیت بالای TOPSIS به تغییرات کیفیت آب مشاهده شد و با توجه به قابل اعتماد بودن این شاخص، استفاده از آن در ارزیابی کیفیت منابع آبی پیشنهاد شد (۱۳).

مطابق با مطالعات صورت گرفته فاضلاب خانگی، مناطق مسکونی مجاور، پساب صنایع غذایی و دامداری‌ها که بدون هیچ تصفیه‌ای وارد رودهای مرتبط با تالاب می‌شوند (۲۶)، همچنین گستردگی حوزه تالاب، تنوع کاربری در حوزه و در نتیجه وارد شدن مواد آلی و معدنی به تالاب از مهمترین دلایل کاهش کیفیت آب تالاب انزلی و تشدید روند تغذیه‌گرایی محسوب می‌شوند که در این خصوص سه منبع عمده مواد مغذی شامل: کودهای استفاده شده در بخش کشاورزی، فاضلاب‌های خانگی و ضایعات دامی را می‌توان نام برد (۲۷). در ارزیابی Chung و همکاران (۲۰۱۷) در رودخانه Han کره جنوبی با استفاده از TOPSIS، آسیب پذیری رودخانه طی سال‌های مورد مطالعه با افزایش مصرف آب مشاهده شد (۱۲). از آنجا که ایستگاه‌های ۸ و ۶ تحت تاثیر عوامل فوق قرار دارند، پارامترهایی مانند فسفات (به‌طور معنی دار) و نیترات (به‌طور قابل توجهی) در این ایستگاه افزایش می‌یابد، می‌توان نتیجه گرفت که ورود مواد آلی و معدنی در شرایط کیفیت آب این نواحی تاثیر مهمی داشت. مقادیر TOPSIS نشان داد که ایستگاه ۸ بیشتر از ایستگاه ۶ آلوده است. Kazi و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از تکنیک‌های آماری مختلف از جمله Principal component analysis (PCA)، کیفیت آب دریاچه مانچار در پاکستان را مورد ارزیابی قرار

گرفت ورود مواد آلی و معدنی به تالاب از مهمترین دلایل کاهش کیفیت آب تالاب است.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از اداره کل حفاظت محیط زیست شهرستان انزلی به دلیل همکاری صمیمانه در طول این تحقیق سپاسگزاری می‌نماییم.

متوسط است، زیرا بیشتر مقادیر TOPSIS در ایستگاه‌ها و فصول مختلف $p \leq 0.05$ است.

نتیجه‌گیری

بررسی کمی و کیفی منابع آبی از ارکان مهم توسعه پایدار است. با توجه به وضعیت بحرانی منابع آبی کشور استفاده از روش‌هایی که در مدیریت و اتخاذ سیاست‌های مناسب در این امر کمک بنماید نیاز می‌شود. در این راستا TOPSIS یک روش ساده و کاربردی جهت اولویت بندی و ارزیابی کیفی آب است. نتایج این مطالعه نیز کارایی این روش را در این امر و شناسایی ایستگاه‌های آلوده تایید کرد. براساس نتایج، همزمان با افزایش پارامترهای موثر بر آلودگی از قبیل BOD_5 ، فسفات، روند افزایش در مقادیر TOPSIS مشاهده شد، می‌توان نتیجه

References

1. Ministry of Jihad. Studies of Anzali Wetland restoration project. Tehran: Ministry of Jihad; 1988 (in Persian).
2. Saadati H, Gholami S, Sharifi F, Ayobizadeh S. Investigating the effects of land use change in surface runoff (simulation model). Iranian Journal of Natural Resources. 2006;95(2):32-39 (in Persian).
3. Plan and Budget Organization. Guidelines for Surface Water Quality Monitoring. Tehran: Plan and Budget Organization; 2009 (in Persian).
4. Zubakava V. The Caspian sea level oscillations in the geological past and its forecast. Russian Meteorology and Hydrology. 1993;8:65-70.
5. Esmaeili H. Areas under the management of Department of Environment of Guilan Province. Rasht: Department of Environment of Guilan Province; 1998 (in Persian).
6. Besharati N. Threats to the health of wetland environmental hazards caused by pollutants. Iranian South Medical Journal (Bulletin of National Congress of Medicine and Sea). 2006;4:76-86 (in Persian).
7. Dumont H. The Caspian lake: history, biota, structure, and function. Limnology and Oceanography. 1998;43:44-52.
8. Stewart TJ, Scott L. A scenario-based framework for multicriteria decision analysis in water resources planning. Water Resources Research. 1995;31(11):2835-43.
9. Rao RV, Davim J. A decision-making framework model for material selection using a combined multiple attribute decision-making method. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2008;35(7-8):751-60.
10. Kannan G. A hybrid approach using ISM and fuzzy TOPSIS for the selection of reverse logistics provider. Resources, Conservation and Recycling. 2009;1:28-36.
11. Li Z, Yang T, Huang C-S, Xu C-Y, Shao Q, Shi P, et al. An improved approach for water quality evaluation: TOPSIS-based informative weighting and ranking (TIWR) approach. Ecological Indicators. 2018;89:356-64.
12. Chung E-S, Abdulai PJ, Park H, Kim Y, Ahn SR, Kim SJ. Multi-criteria assessment of spatial robust water resource vulnerability using the TOPSIS method coupled with objective and subjective weights in the Han River basin. Sustainability. 2016;9(1):29.
13. Li P, Wu J, Qian H, Chen J. Sensitivity analysis of TOPSIS method in water quality assessment II: sen-

- sitivity to the index input data. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2013 (185):2463–74.
14. APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st ed. Washington DC: American Public Health Association; 2005.
15. Pei Z. A note on the TOPSIS method in MADM problems with linguistic evaluations. *Applied Soft Computing*. 2015;36:24-35.
16. Liou T, Wang M. Fuzzy weighted average: An improved algorithm. *Fuzzy Sets and Systems*. 1992;3:307-15.
17. Sheng H, Tsaur T, Chang-Hua Y. The Evaluation of airline service quality by fuzzy MCDM. *Journal of Tourism Management*. 2002;23:107-15.
18. Momeni M. *New Topics in Operations Research*. Tehran: Tehran University Press; 2007 (in Persian).
19. Asgharpur M. *Multi-Criteria Decision Making*. Tehran: University of Tehran Press; 1998 (in Persian).
20. Gao L, Hailu A. Evaluating the effects of area closure for recreational fishing in a coral reef ecosystem: The benefits of an integrated economic and biophysical modeling. *Ecological Economics*. 2011;70:1735-45.
21. Pimerol J, Romero S. *Multi-Criteria Decision in Management: Principles and Practice*. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers; 2011.
22. Ahmadpour G. *Ecological assessment, Miangan wetlands, with emphasis on protection aspects [dissertation]*. Ahwaz: Islamic Azad University, Khuzestan Science and Research Branch; 2008 (in Persian).
23. Afraz A. Classification of rivers entering the wetland (using curves Quality Index). *Journal of Fisheries*. 1996;5:1-17 (in Persian).
24. First Consulting Engineers. *The first step of a comprehensive plan for restoration of wetland*. Tehran: First Consulting Engineers; 1988 (in Persian).
25. Kohanestani ZM, Ghorbani R, Fazel A. Evaluation of water quality using TOPSIS method in the Zaringol Stream (Golestan Province, Iran). *International Journal of Aquatic Biology*. 2013;1(5):202-208.
26. Japan International Cooperation Agency (JICA). *Integrated management for Anzali Wetland*. Tehran: Department of Environment; 2005 (in Persian).
27. Sakizade M. *Investigate and identify sources of pollution sources in the basin Siahrood in Guilan [dissertation]*. Tehran: University of Tehran; 2003 (in Persian).
28. Kazi T, Arain M, Jamali M, Jalbani N, Afridi H, Sarfraz R. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2009;72:301-309.
29. Hassler M. Animal grazing effects on runoff water quality in a semiarid grassland. *Journal of Environmental Quality*. 2004;21:102-105.
30. Khodaparast H. *Investigation of oil hydrocarbons in floating sites in Anzali Wetland and Coasts in a Caspian Sea (Guilan Province)*. Rasht: Department of Environment of Guilan Province; 2007 (in Persian).
31. Khosravi M, Bahramifar N, Ghasempouri M. Survey of heavy metals (Cd, Pb, Hg, Zn and Cu) contamination in sediment of three sites Anzali Wetland. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2011;4(2):223-32 (in Persian).
32. Samarghandi M, Weysi K, Abouei ME, Kaseb P, Danai E. Evaluation of Water Quality in Hamadan Akbatan Reservoir by NSFQI Index. *Journal of North Khorasan University of Medical Sciences*. 2013;5:39-48 (in Persian).



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Evaluation of water quality of the Anzali international wetland using TOPSIS method

M Fallah^{1,*}, AR Pirali Zefrehei², SAA Hedayati²

1- Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

2- Department of Aquatics Production and Exploitation, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 10 April 2018

Revised: 7 July 2018

Accepted: 10 July 2018

Published: 17 September 2018

ABSTRACT

Background and Objective: Due to the vulnerability of water resources, quality control of surface water is one of the key issues in environmental conservation programs. In recent years, Anzali wetland has been exposed to numerous threats, including environmental pollutants. TOPSIS is an efficient and reliable way to assess the quality of water resources.

Materials and Methods: In order to evaluate water quality condition, Biochemical Oxygen Demand (BOD), Dissolved Oxygen (DO), temperature, pH, turbidity, Total Suspended Solid (TSS), phosphate (PO_4^-), nitrate (NO_3^-) and Fecal Coliforms (FC) were measured seasonally from 10 sites of Anzali International Wetland in 2014 and the water quality condition was estimated using TOPSIS method.

Results: The highest BOD₅, phosphate, temperature and fecal coliform were measured at station 8. Comparison of TOPSIS values in different sampling stations showed the minimum (0.339) and maximum values (0.689) at the stations 5 and 8, respectively. According to the result, the station 5 (Sorkhankal) had the best water quality condition and station 8 (Pirbazar) had the lowest one. Also, seasonal results of TOPSIS values showed that the maximum value was at spring (0.742).

Conclusion: Discharge of effluents from land uses, agricultural and industrial activities located along the stream, could be considered as important reasons for decreasing water quality. Our results showed that TOPSIS method was clearly able to demonstrate the qualitative changes of water resources, indicating a moderate water quality for Anzali international wetland.

Keywords: Pollution, Multiple criteria decision making method, Water quality, Anzali international wetland

*Corresponding Author:

Maryam.fallah85@gmail.com