اقیانوس‌شناسی/ سال دهم/ شماره ۳۸/ تابستان ۱۳۹۸/۹/۱۳۱_۱۲۳

روش تصمیم‌گیری چندمعیاره میانگین نرمال در اولویت‌سنجی سواحل مستعد برای احداث آب شیرین‌کن در استان بوشهر

حسن اکبری

استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس، پست الکترونیکی: akbari.h@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۸/۱۷ ** نویسنده مسوول* *تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۹*

چکیده

در این پژوهش، با بررسی معیارهای تاثیرگذار در انتخاب سواحل مستعد برای احداث آب شیرین‌کن، روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره دسته‌بندی و سپس با ترکیب روش‌ها، روش میانگین نرمال معرفی شد. در این راستا، اولویت مناطق ساحلی استان بوشهر با استفاده از روش‌های مجموع وزنی، تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس بررسی و میزان دقت هر روش در قیاس با روش معرفی شده ارزیابی شد. با توجه به محدودیت تعداد گزینه و معیار در نرم‌افزارهای موجود و همچنین تعدد روش‌ها، هر روش جداگانه کدنویسی شد. در نهایت، رویکردی برای دسته‌بندی سواحل مستعد برای احداث آب شیرین‌کن معرفی و اولویت هر قطعه ساحل تعیین گردید. بر اساس نتایج، روش‌های مختلف الگوی امتیازی نسبتا مشابهی را برای هر گزینه نشان می‌دهند و از این میان، روش مجموع وزنی علیرغم قدمت و سادگی آن همچنان دقت مناسبی در تخمین گزینه بهینه دارد.

کلمات کلیدی: *آب شیرین‌کن، اولویت‌سنجی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، استان بوشهر، روش میانگین نرمال.*

۱. مقدمه

گسترش شهرنشینی و نیاز روزافزون جوامع بشری به منابع آب شیرین برای مصارف مختلفی نظیر مصارف شهری، صنعتی، کشاورزی و غیره، منجر به افزایش تعداد تاسیسات شیرین‌سازی آب دریا شده است. این امر به خصوص در کشور ایران که منابع آب شیرین محدود و اقلیمی نسبتا خشک دارد، اولویت بیشتری دارد. تعیین سیستم شیرین‌سازی از یک سو و جانمایی مناسب آن از سوی دیگر اهمیت دارد. از این‌رو، ضروری است تا با شناخت کافی از شرایط آبگیری و تاثیرات احداث تاسیسات ساحلی، اقدام به تعیین مکان مناسب برای جانمایی سیستم آب شیرین‌کن نمود. در این راستا، تعیین گزینه مناسب از یک طرف تابعی از معیارهای تاثیرگذار و اهمیت نسبی آنها بوده و از طرف دیگر به نقاط مصرف و مقصد مورد انتظار بستگی دارد.

مطالعات انجام شده در خصوص اولویت‌سنجی سواحل مستعد برای احداث آب شیرین‌کن را می‌توان در سه مقوله زیر مورد بررسی قرار داد. الف) مطالعاتی که تاثیر احداث آب شیرین‌کن در خلیج‌ها را بررسی کرده‌اند، ب) مطالعاتی که معیارهای اثرگذار در انتخاب محل مناسب ساخت آب شیرین‌کن را ارزیابی کرده‌اند و ج) مطالعاتی که به روش‌های تصمیم‌گیری مختلف پرداخته‌اند.

از جمله مطالعاتی که به بررسی اثر احداث آب شیرین‌کن در خلیج‌ها و محیط‌های آبی با تبادل محدود پرداخته است، می‌توان به مطالعه Hopner and Lattemann (2002) اشاره داشت که اثرات شیمیایی احداث آب شیرین‌کن در محدوده شمالی دریای سرخ را بررسی کرده است. آن ها به اثرات منفی محتمل احداث آب شیرین‌کن در سیستم اکولوژیکی خلیج‌فارس نیز اشاره نمودند. Dawoud and Mulla (2012) و سپس Uddin (2014)

نیز به طور خاص محدوده خلیج‌فارس را از منظر تاثیرات زیست محیطی احداث آب شیرین‌کن بررسی نمود. Taghavi et al. (2016) نیز با معرفی انواع سیستم‌های آب شیرین‌کن، اثرات ناشی از احداث آب شیرین‌کن های صنعتی بر اکوسیستم آبی خلیج‌فارس را طبقه‌بندی کردند و به لزوم سیاست‌گذاری‌های پایدار و مشارکت علمی و بین‌المللی برای مدیریت کارآمد زیست محیطی اشاره کردند، نکته ای که Sale et al. (2011) نیز بر آن تاکید داشته اند. Basere et al. (2013) با استفاده از تکنیک دلفی و تاپسیس، مناطق مناسب احداث آب شیرین‌کن در مناطق ساحلی غرب استان هرمزگان را اولویت‌بندی نمودند. آنها با درنظر گرفتن ۸ معیار و ۹ گزینه، محدوده‌های بندر عباس، قشم، کیش، ابوموسی، خمیر، بندر لنگه، هرمز، پارسیان، بستک را به ترتیب اولویت برای احداث آب شیرین‌کن مناسب دانستند.

در مطالعات مختلف، معیارهای ارزیابی متفاوت و همچنین روش‌های تصمیم‌گیری مختلف مبنا بوده است. به عنوان نمونه، با تکیه بر معیارهای اقتصادی، Mahmoud et al. (2002) به جانمایی محل احداث آب شیرین‌کن در سواحل شمالی مصر بر اساس سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. در مطالعه‌ای که با هدف شناسایی مکان های مستعد احداث آب شیرین‌کن در مناطق ساحلی استان هرمزگان از منظر پهنه‌های زیست محیطی انجام شد، Sepehr et al. (2017a,b) معیارهای شیب منطقه و عمق، کیفیت آب دریا، موقعیت تالاب‌ها و مناطق زیست محیطی ساحلی و خشکی را در روش دلفی انتخاب کردند و با استفاده از ارزش‌گذاری ترجیحی در نرم‌افزار ARCGIS، مکان‌هایی که کم ترین آثار مخرب بر پهنه های حساس محیط زیست منطقه را داشته باشند، معرفی کردند. Liu et al. (2013) اثرات زیست محیطی احداث آب شیرین‌کن را با توجه به معیارهای متنوع زیستی بررسی کردند و سپس، Liu et al. (2018) به بررسی اهمیت اثرات محیطی احداث آب شیرین‌کن با استفاده از روش AHP پرداختند. Akbari and Ebrahimi (2016) نیز طرح دیفیوزرهای بهینه برای تخلیه پساب آب شیرین‌کن‌ها را مطالعه کردند. در بین تحقیقات محدودی که به ارزیابی معیارهای موثر بر انتخاب محل مناسب احداث آب شیرین‌کن از منظر استفاده‌کنندگان پرداخته است، Heck et al. (2017) با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی نشان دادند که از منظر استفاده‌کنندگان، عدم تاثیر بر آب‌های سطحی (تامین آب شرب با حداقل آبگیری از رودخانه‌های سطحی) و همچنین، شرایط زیست محیطی (کاهش اثرات روی مناطق حساس و اکوسیستم‌های منطقه) بسیار بیش از تامین اقتصادی آب (هزینه تمام شده آب و تداخل با صنایع مجاور دریا) اهمیت داشته است. روش تحلیل سلسله مراتبی مختص آب شرین‌کن نبوده و مطالعات دیگری نیز با این روش به منظور مکان‌یابی و اولویت‌بندی گزینه‌های مختلف دریایی انجام شده است (Mousavi et al., 2011; Sayare and Alahyari, 2017).

علاوه بر انتخاب معیارها، انتخاب روش تصمیم‌گیری نیز اهمیت دارد. تعدد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بسیار زیاد بوده و به عنوان نمونه در بین روش‌های متداول می‌توان به مواردی نظیر روش مجموع وزن‌ها توسط Fishburn (1967)، روش ضرب وزن‌ها توسط Miller and Starr (1969)، روش برنامه سازگار توسط Zeleny (1982)، روش تحلیل سلسله مراتبی توسط Saaty (1980)، روش الکتره توسط Benayoun et al. (1966)، روش تاپسیس توسط Hwang and Yoon (1981)، روش پرومت توسط Brans and Vincke (1985) و روش ویکور توسط Opricovic (1998) اشاره نمود که توضیحات و میزان کاربرد هرکدام به‌طور مختصر توسط Kabir et al. (2014) ارائه شده است. بطور کلی شاخصه مشابه این روش‌ها، تعیین معیارهایی با ضرایب اهمیت متفاوت و امتیازدهی گزینه‌ها با توجه به این معیارهاست (Huang et al., 2011).

با توجه به اهمیت احداث آب شیرین‌کن در سواحل کشور و همچنین تنوع معیارهای معرفی شده از یک سو و تنوع روش‌های تصمیم‌گیری ارائه شده از سوی دیگر، نیاز به مطالعات تکمیلی در این خصوص را ضروری می‌سازد. بدیهی است برای تعیین محل مناسب آب شیرین‌کن، هر سه مقوله ذکر شده در فوق، اهمیت دارند و به عبارتی، شناخت تاثیرات احداث آب شیرین‌کن و استفاده از معیارهای مهم در روشی مناسب منجر به نتایج دقیق‌تر خواهد شد. در این پژوهش، بر مبنای تاثیرات احداث آب شیرین‌کن، معیارهای مناسب شناسایی شده است و سپس، با توضیح روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، روش میانگین نرمال معرفی می‌گردد. در ادامه، با تقسیم‌بندی خطوط ساحلی استان بوشهر به گزینه‌های مختلف، در نهایت امتیاز هر قطعه ساحل در قبال معیارهای اصلی تعریف شده محاسبه و تحلیل می‌گردد. در انتها پس از مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری مختلف، نقشه اولویت‌بندی سواحل از منظر معیارهای دریایی تاثیرگذار در احداث آب شیرین‌کن ارائه می‌شود.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱ معرفی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

برای اولویت‌سنجی گزینه‌های مختلف و ارزیابی آن ها بر اساس معیارهای تعریف شده، سه مرحله اصلی وجود دارد. تعیین معیارها، تعیین گزینه‌ها و تعیین اولویت گزینه‌ها. مغایرت روش‌های تصمیم‌گیری، عموما مربوط به روش ریاضی ترکیب داده‌ها با تعاریف و مفاهیم اندکی متفاوت است. با توجه به پیچیدگی و تنوع این روش‌ها از یک طرف و عملکرد متفاوت هر کدام بر اساس نوع مساله و شرایط معیارها، هنوز روش واحدی مورد پذیرش عام قرار نگرفته است. Tscheikner et al. (2017) نشان دادند که اگرچه، اهمیت تعیین وزن معیارها بسیار بیش از روش تصمیم‌گیری خاص است، استفاده از ترکیب روش‌ها می‌تواند به پایداری بیشتر حل و نتایج منطقی‌تر منجر شود. در این پژوهش، روشی جدید بر مبنای ترکیب روش‌های مختلف پیشنهاد شده است تا از مزایای نسبی روش‌های مختلف استفاده مناسب گردد. برای این منظور، در ابتدا روش‌های مختلف در سه زیر مجموعه زیر دسته‌بندی می‌شود:

الف) روش‌هایی که بر اساس ارزش دهی مستقل گزینه‌ها معرفی شده اند. در این روش‌ها، گزینه برتر بر اساس میزان انحرافی که گزینه‌ها از معیارها دارند، انتخاب می‌شود و هر گزینه مستقل از سایر گزینه‌ها بررسی می‌شود. به عنوان نمونه، معروف‌ترین این روش‌ها، روش‌های میانگین‌گیری وزنی (حسابی یا هندسی) است و از نمونه دیگر می‌توان به روش پرومت اشاره نمود. از این دسته، روش مجموع وزنی (WSM) برای اولویت‌سنجی مناطق ساحلی در پژوهش حاضر استفاده می‌گردد. در این روش، ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری هم مقیاس (با درایه‌های a_{ij} حاوی امتیازات هر گزینه i به ازای هر معیار j) محاسبه گردد. سپس با ضرب این امتیازات در ضرایب وزنی هر معیار j (w_j) و تجمیع آن برای هر گزینه و نرمال‌سازی آن نسبت به مجموع ضرایب، شاخص ارزیابی برای هر گزینه i، مطابق زیر محاسبه می‌گردد.

$$R_i = \frac{\sum_{j=1}^{M} w_j a_{ij}}{\sum_{j=1}^{M} w_j} \qquad (۱)$$

در این رابطه تعداد معیارها M بوده و هر گزینه مستقل از سایر گزینه‌ها امتیازدهی می‌شود. گزینه‌ای که بیشترین شاخص را داشته باشد، دارای اولویت نخست است.

ب) روش‌هایی که بر اساس ارزش دهی نسبی گزینه‌ها در قیاس با یکدیگر کار می کنند. در این دسته روش‌ها، امتیاز هر گزینه در قیاس با گزینه‌های دیگر تعریف می‌شود که نمونه ای از معروف ترین آن ها روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است که بر اساس تعریف ماتریس زوجی مقایسه بین گزینه‌های مختلف به ازای معیارهای تعریف شده کار می کند. روش شبکه‌ای (ANP) و همچنین روش الکتره نمونه های دیگری از این دسته روش‌ها می باشند. در این پژوهش با توجه به کاربرد گسترده روش AHP، این روش به عنوان روش معرف این دسته انتخاب می‌گردد. در این روش، ابتدا ماتریس مقایسه زوجی معیارها $A_{M\times M}$ برای مقایسه دو به دویی معیارها با یکدیگر تشکیل و سپس نرمال می‌شود و سپس، بردار وزن معیارها w (با تعداد) با تقسیم مجموع درایه های هر سطر بر تعداد M مولفه، تعیین می‌گردد. با روندی مشابه، ماتریس امتیاز گزینه‌ها، $S_{N\times M}$، با مقایسه دو به دویی گزینه‌ها به ازای هر معیار j تعیین می‌گردد. در نهایت، امتیاز نهایی گزینه‌ها مطابق زیر با ضرب این دو ماتریس محاسبه و مبنای اولویت‌بندی قرار می‌گیرد.

$$v = S.w \qquad (۲)$$

ج) روش‌هایی که با سنجش فاصله گزینه‌ها تا گزینه بهینه، امتیاز هر گزینه را می‌سنجد. به عنوان نمونه در روش تاپسیس، فاصله هر گزینه تا مثبت ترین و منفی ترین گزینه، و در روش ویکور، علاوه بر این فواصل، امتیاز نسبی گزینه‌های آلترناتیو نیز به عنوان شاخصی برای ارزیابی و امتیازدهی آن گزینه مدنظر است. در روش تاپسیس که در این پژوهش مورد استفاده قرار می‌گیرد، ابتدا، ماتریس تصمیم A حاوی درایه های a_{ij} تشکیل و سپس، با در نظر گرفتن بردار ضریب اهمیت معیارها w، هر درایه r_{ij} از ماتریس تصمیم وزن دار با استفاده از ضرب وزن معیار j در هر مولفه a_{ij} و نرمال سازی نسبت به مجموع ضرایب، محاسبه می‌گردد. سپس، با تقسیم r_{ij} بر مجموع مربع مولفه مرتبط با معیار j ، ماتریس نرمال شده با مولفه های v_{ij} تشکیل می‌شود. در گام بعد، گزینه‌های ایده آل مثبت V_j^+ و منفی V_j^- با حداکثر و حداقل گیری بین مولفه های v_{ij} به ازای هر معیار j ، تعیین می‌گردند و فاصله هرگزینه i تا هر کدام با D_i^+

و D_i^- مشخص می‌گردد. در نهایت، نسبت فاصله هر گزینه تا گزینه‌های ایده آل مثبت و منفی به عنوان شاخص ارزیابی آن گزینه مطابق زیر سنجیده می‌شود بگونه ای که گزینه با شاخص R_i بزرگ تر اولویت بیشتری دارد.

$$R_i = \frac{D_i^+}{D_i^+ + D_i^-} \quad (۳)$$

۲-۲ معرفی روش تلفیقی میانگین نرمال

ترکیب دو یا چند روش می‌تواند با تجمیع توانمندی این روش‌ها باعث بهبود تصمیم‌گیری شده و کاستی های هر روش را پوشش دهد (Kabir et al., 2014). فنونی برای ترکیب روش‌های مختلف وجود دارد که سه نمونه از آن، روش میانگین رتبه ها، روش بردا و کپ لند است. در روش اول، رتبه هر گزینه بر اساس میانگین رتبه های حاصل از روش‌های مختلف محاسبه می‌شود. در روش بردا، بر اساس قاعده اکثریت، گزینه‌ای اولویت دارد که در اکثر روش‌ها برتر شناخته شده است. روش کپ لند نیز مبنای مشابهی دارد با این تفاوت که علاوه بر تعداد بردها، تعداد باخت‌ها نیز تعیین کننده اولویت گزینه‌ها است. نکته مهم در ترکیب روش‌ها، ترکیب روش‌هایی با دیدگاه ها و مبانی مختلف است تا در مجموع توانمندی های مختلف استفاده گردد. در این راستا، همانطور که ذکر شد، روش‌های مجموع وزنی، تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس انتخاب شدند. در روش پیشنهادی در این پژوهش تحت عنوان روش میانگین نرمال شده، به جای استفاده از اولویت ها، امتیاز گزینه‌ها مبنای ترکیب است تا میزان اهمیت و امتیاز یک گزینه نیز در محاسبات دخیل باشد. برای این منظور، در ابتدا، امتیاز گزینه‌ها در هر کدام از روش‌های مختلف با روابط ۱، ۲ و ۳ محاسبه می‌شود. سپس، این امتیازات بصورت خطی به مبنای واحدی بین ۰ تا ۱۰۰ نگاشت و نرمال می‌گردد بگونه ای که کم ترین امتیاز در هر روش برابر با عدد ۰ و بیشترین امتیاز برابر با ۱۰۰ گردد. در ادامه، برای هر گزینه، میانگین امتیازهای نرمال شده سه روش مذکور محاسبه شده و این امتیاز به عنوان معیاری برای سنجش اولویت آن گزینه در برابر سایر گزینه‌ها قرار می گیرد. دو مزیت اصلی روش پیشنهاد شده، بهره گیری از مزیت روش‌هایی با مبانی متفاوت و همچنین تجمیع امتیازات به جای اولویت ها است تا مزیت نسبی هر روش قابل لمس باشد.

۳. نتایج و بحث

۳-۱ تعیین معیارها

بطور معمول، در ابتدای هر مطالعه و بر اساس تجربیات محققین، معیارهای انتخاب محل مناسب احداث آب شیرین‌کن، انتخاب می‌گردد و ضریب اهمیت آن با استفاده از نظر متخصصین منظور می‌گردد. سپس بر اساس این معیارها، مناطق مختلف با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، اولویت‌بندی می‌شوند. همانطور که در بخش مقدمه ذکر شد، در مطالعات محدودی که تا کنون برای تعیین معیارهای تاثیرگذار و وزن آن ها در اولویت یابی محل مناسب برای احداث آب شیرین‌کن، انجام شده است، بر اساس نظر متخصصین و بهره برداران، معیارهای متنوعی از جمله شرایط اجتماعی، اقتصادی، زیست محیطی، دریایی و غیره مدنظر بوده است (Sepehr et al., 2017b; Hajee and Othman, 2005; Heck et al., 2017). از طرفی، اهمیت نسبی معیارها نیز وابسته به شرایط منطقه و حتی سیاست گذاری های کلان ممکن است متفاوت باشد که این امر دلیلی بر عدم اجماع جهانی بر معیارها و وزن نسبی آن ها است. از این رو مناسب است با توجه به حساسیت های محیطی و همچنین، نیاز آبی متناسب با هر منطقه، معیارها مشخص گردند. در این مطالعه، با هدف قرار دادن شرایط دریایی و اولویت‌بندی سواحل از این منظر ، سه مولفه اصلی شامل هیدرودینامیک دریا، محیط زیست دریایی و امکانات احداث آب شیرین‌کن در منطقه ساحلی به عنوان دسته معیارهای اصلی تعریف شد و مطابق جدول ۱، زیر دسته هایی برای هر کدام در نظر گرفته شد و ضرایب اهمیت هر دسته با توجه به مطالعات پیشین و همچنین بهره گیری از نظرات متخصصین منظور شد. برای این منظور از جمع ۱۵ نفره با تخصص های سازه دریایی، محیط زیست، سازه هیدرولیکی، مکانیک سیالات، سیویل و برق قدرت که سابقه و تجربه طراحی آب شیرین‌کن را داشتند، استفاده شد. در ابتدا، عنوان معیارهای اثرگذار و همچنین میزان اهمیت آن توسط هر متخصص جداگانه یادداشت شد و بر اساس آن، مقادیر میانگین ضرایب اهمیت استخراج گردید. سپس، با جلسه مشترک بین این متخصصین و همفکری در خصوص جمع بندی نظرات، ضرایب اهمیت، نهایی گردید به گونه ای که مورد قبول جمع باشد. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، در بین دسته‌های اصلی معیارهای تصمیم‌گیری و انتخاب محل

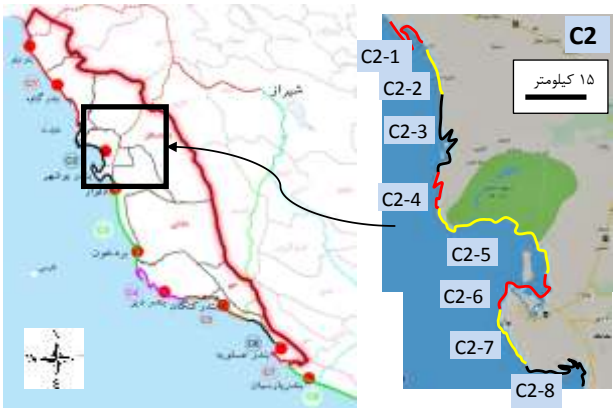
مستعد احداث آب شیرین‌کن، شرایط محیط زیست و کیفیت آب منطقه دارای اهمیت ٤٠ درصدی است که در مقایسه با شرایط هیدرودینامیک دریا اهمیتی حدود دو برابری دارد. در این میان، برای این زیردسته، اثرات مخرب احداث آب شیرین‌کن بر شرایط زیست محیطی منطقه اهمیتی به مراتب بیش از آلودگی آب منطقه و قابلیت پالایش طبیعی دارد.

جدول ۱: معیارهای تاثیرگذار در انتخاب محل مناسب احداث آب شیرین‌کن و دسته‌بندی اهمیت آنها

امکانات احداث آب شیرین‌کن در منطقه ٪۳۵					محیط زیست دریایی و کیفیت آب ٪٤٠			هیدرودینامیک دریا ٪۲۵			
P12	P11	P10	P9	P8	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1
مسیر دسترسی	نزدیکی به شهر	منابع زیرساختی	فضای پسکرانه	شیب پسکرانه	پالایش طبیعی	آلودگی آب	محیط زیست	شیب ساحل	شرایط رسوب	شرایط جریان	شرایط موج
٪۲۰	٪۱۰	٪۲۵	٪۳۰	٪۱۵	٪۲۰	٪۳۰	٪۵۰	٪۴۰	٪۲۵	٪۱۵	٪۲۰

۳-۲ *تعیین و امتیازدهی گزینه‌ها*

همانطور که ذکر شد، محدوده ساحلی استان بوشهر مورد مطالعه موردی قرار گرفته است. در ابتدا بر اساس معیارهای تصمیم‌گیری، مناطق ساحلی شناسایی و تفکیک می‌گردد تا گزینه‌های مستقل حاصل شود. در این راستا، طول خط ساحلی مطابق شکل ۱، به محدوده‌های ساحلی با خصوصیات کلی مشابه تقسیم شده و سپس، هر محدوده به قطعاتی با مشخصات یکسان از منظر معیارها تفکیک می‌گردد به این ترتیب که امتیاز همه معیار در طول هر پاره ساحل ثابت بوده و هرگاه امتیاز هر کدام از معیارها در طول ساحل تغییر یابد، یک پاره ساحل جدید تعریف می‌شود. به عنوان نمونه، نحوه تقسیم‌بندی محدوده C2 به قطعه-های ساحلی کوچک تر در در این شکل مشخص می باشد. همانطور که مشاهده می‌گردد لزومی به یکسان بودن طول این قطعات نبوده و مبنای این تقسیم یندی یکسان بودن شرایط معیارها در هر قطعه ساحل می باشد.



شکل ۱: تقسیم‌بندی طول خط ساحلی استان بوشهر به محدوده‌های ساحلی با مشخصات عمومی مشابه (راست) و تقسیم‌بندی محدوده ساحلی C2 به قطعه ساحل هایی با مشخصات معیاری مشابه (چپ)

برای تکمیل ماتریس تصمیم و به عبارتی امتیازدهی هر قطعه ساحل از منظر هر معیار، لازم است وضعیت معیارها در هر قطعه ساحل مشخص و سپس بطور نسبی امتیازدهی گردد. این مهم با استفاده از نظر حدود پانزده متخصص حاصل شده است. در این راستا، ارزیابی شرایط زیرساختی، توپوگرافی و کاربری اراضی منطقه و همچنین مجاورت با زیست گاه های حساس، با استفاده از نتیجه مطالعات مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی و همچنین تصاویر ماهواره ای بوده است و برای شرایط هیدرودینامیک منطقه از نتایج امواج ISWM و همچنین شبیه سازی های عددی موج، جریان و رسوب با نرم‌افزار Mike21، استفاده شده است. بر اساس این اطلاعات، امتیاز هر پاره ساحل در هر معیار از بین اعداد ۱ تا ۱۰ توسط هر متخصص اختصاص یافته و سپس، مقدار میانگین امتیاز برای هر گزینه مبنای عمل قرار می گیرد. عموما امتیازهای جمع آوری شده برای هر گزینه اختلاف فاحشی نداشته اند بگونه ای که حداکثر تفاوت بین میانگین و امتیازات جمع آوری شده مقدار ۳، حداکثر نرخ ناسازگاری ۰,۰٤ و حداقل مقدار ضریب آلفای کرونباخ ۰,۷۵ بوده است که تایید کننده پایایی امتیازات براساس انحراف معیار آن ها می باشد.

۳-۳ *اولویت‌بندی مناطق ساحلی*

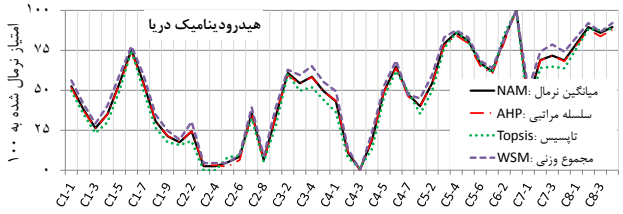
با توجه به توضیحات ارائه شده، در نهایت تعداد ٤٦ قطعه ساحل در ۸ محدوده و تعداد ۱۲ معیار در سه دسته اصلی تعریف و وزن دهی شده است. سپس با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری مجموع وزنی (WSM)، تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تاپسیس (TOPSIS) و همچنین روش میانگین نرمال شده (NAM)، امتیاز و اولویت‌بندی قطعه ساحل ها مشخص شده و به عنوان نمونه اولویت قطعه ساحل های واقع در محدوده C2

در جدول ۲ ارائه شده است. به عنوان نمونه قطعه ساحل C2-5 که مطابق شکل ۱ در محدوده حفاظت شده محیط زیستی بوده و وضعیت رسوبی مناسبی نیز ندارد، و همه روش‌ها اولویت بالای ۴۰ (از ٤٦ گزینه) را برای این قطعه ساحل نشان می‌دهند. لازم به توضیح است که بطور کلی برای هیچ کدام از گزینه‌های محدوده C2، اختلاف فاحشی بین اولویت های تعیین شده از روش‌های مختلف وجود ندارد.

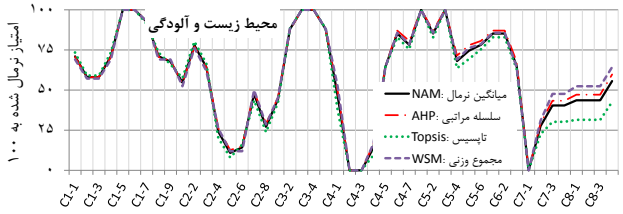
جدول ۲: نمونه رتبه بندی به تفکیک معیارهای اصلی و رتبه کل برای گزینه‌های واقع در محدوده ساحل C2

معیارهای اصلی	روش	C 2-1	C 2-2	C 2-3	C 2-4	C 2-5	C 2-6	C 2-7	C 2-8
کل معیارها	AHP	۳۵	۲۴	۳۹	۴۲	۴۴	۴۰	۲۹	۴۳
	Topsis	۳۳	۲۴	۳۴	۴۳	۴۴	۴۰	۳۱	۴۲
	WSM	۳۵	۲۵	۴۰	۴۲	۴۳	۳۹	۲۷	۴۴
	NAM	۳۵	۲۴	۳۸	۴۳	۴۴	۴۰	۳۱	۴۲

همانطور که در بخش معرفی روش‌های تلفیقی ذکر شد، اولویت یک گزینه نمی‌تواند به تنهایی معیار مناسبی برای ارزیابی نسبی آن گزینه باشد به عنوان نمونه مشخص نیست که چه اختلاف امتیازی بین دو گزینه متوالی وجود دارد و میزان ترجیح یکی بر دیگری در چه حدی است. از این رو برای مقایسه روش‌ها، امتیازهای نرمال شده به محدوده ۰ تا ۱۰۰ در شکل های ۲، ۳ و ٤ به ترتیب برای معیارهای اصلی هیدرودینامیک دریا، محیط زیست و امکانات منطقه نمایش داده شده است.

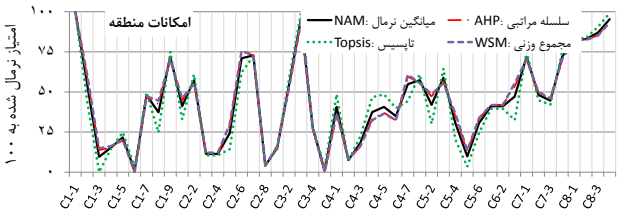


شکل ۲: امتیاز نرمال شده گزینه‌ها در معیار هیدرودینامیک دریا و به ازای روش‌های تصمیم‌گیری مختلف

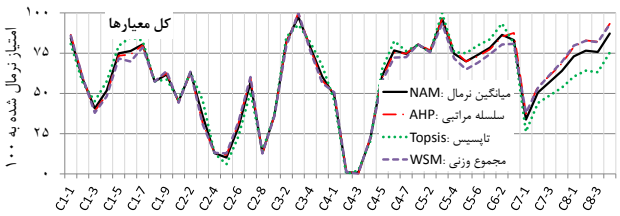


شکل ۳: امتیاز نرمال شده گزینه‌ها در معیار زیست محیطی و به ازای روش‌های تصمیم‌گیری مختلف

همانطور که مشاهده می‌گردد همه روش‌ها روند بسیار نزدیکی را نشان می‌دهند و امتیازات بسیار به هم نزدیک است. در شکل ۵ امتیاز نرمال شده گزینه‌ها با در نظر گرفتن ترکیب کل معیارها نمایش داده شده است و همچنان نتایج به یکدیگر نزدیک است.



شکل ٤: امتیاز نرمال شده گزینه‌ها در معیار امکانات منطقه و به ازای روش‌های تصمیم‌گیری مختلف



شکل ۵: امتیاز نهایی نرمال شده گزینه‌ها به ازای روش‌های تصمیم‌گیری مختلف

برای کمی کردن نتایج، مقدار اختلاف امتیاز هر روش (در مقیاس نرمال شده) نسبت به روش میانگین نرمال (NAM) می‌تواند معیاری برای ارزیابی تفاوت نتایج روش‌ها باشد.

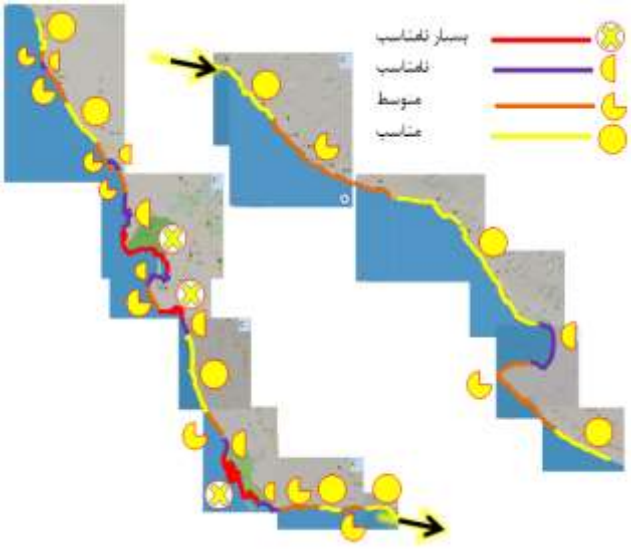
جدول ۳: تفاضل بین مقادیر نرمال شده هر روش به مقادیر متوسط گیری شده بین کل روش‌ها به ازای معیارهای اصلی

روش	معیارهای اصلی	فاصله نرمال شده نسبت به روش میانگین نرمال NAM		
		حداکثر	حداقل	متوسط
تحلیل سلسله مراتبی AHP	هیدرودینامیک دریا	۲,۷۷	۰,۰۰	۰,۸۱
	محیط زیست دریایی	۴,۲۰	۰,۰۰	۱,۳۹
	امکانات مجاور ساحل	۶,۳۶	۰,۰۰	۲,۰۸
	کل	۶,۳۹	۰,۰۱	۱,۹۲
تاپسیس Topsis	هیدرودینامیک دریا	۶,۹۱	۰,۰۰	۳,۲۰
	محیط زیست دریایی	۱۲,۹۰	۰,۰۰	۳,۳۵
	امکانات مجاور ساحل	۱۴,۶۲	۰,۰۰	۴,۶۷
	کل	۱۲,۵۶	۰,۰۸	۴,۶۳
مجموع وزنی WSM	هیدرودینامیک دریا	۶,۹۰	۰,۰۰	۳,۴۱
	محیط زیست دریایی	۸,۷۱	۰,۰۰	۲,۰۴
	امکانات مجاور ساحل	۸,۲۶	۰,۰۰	۲,۶۰
	کل	۶,۶۶	۰,۰۳	۲,۹۴

برای این منظور در ابتدا برای هر گزینه، تفاضل امتیاز هر روش با روش NAM محاسبه شده و سپس برای هر روش، حداکثر، حداقل و متوسط این مقادیر بین گزینه‌های مختلف محاسبه می‌گردد. این مقادیر برای هر کدام از معیارهای اصلی و همچنین برای کل معیارها در جدول ۳ ارائه شده است که حداکثر اختلاف مربوط به روش تاپسیس و حداقل آن مربوط به روش AHP است. از طرفی متوسط دقت روش مجموع وزنی نیز در محدوده قابل قبولی است.

۴. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با معرفی روش میانگین نرمال سعی شد تا اولویت مناطق ساحلی استان بوشهر برای احداث آب شیرین‌کن تعیین گردد. در این راستا، معیارهای دریایی تاثیرگذار بررسی و اهمیت آن ها با تعیین ضرایب وزنی مشخص شد. پس از شناسایی گزینه‌های با مشخصه های یکسان، امتیاز و اولویت هر گزینه تعیین شد. در مجموع مشخص شد که نتایج روش‌های مختلف پراکندگی چندانی نداشته و هر کدام به تنهایی نیز می‌تواند به روند تصمیم سازی کمک شایانی نماید. از این میان، روش مجموع وزنی علیرغم سادگی و قدمت، اختلافی کمتر از ۳ درصد (۲,۹٤ درصد طبق جدول ۳) با مقادیر متوسط گیری شده بین کل روش‌ها دارد و می‌تواند به صورت موثری در تصمیم‌گیری‌های کلان مورد استفاده باشد.



شکل ٦: نقشه تعیین اولویت مناطق ساحلی مستعد برای احداث آب شیرین‌کن از منظر معیارهای دریایی

به منظور تفکیک کیفی سواحل مستعد برای احداث آب شیرین‌کن از منظر معیارهای دریایی ، سواحل بسیار نامناسب (امتیاز نرمال ۰ تا ۲۵)، نامناسب (۲۵ تا ۵۰)، متوسط (۵۰ تا ۷۵) و مناسب (۷۵ تا ۱۰۰) در شکل ٦ نمایش داده شده است که می‌تواند به‌عنوان مبنایی کاربردی برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مورد استفاده باشد. با توجه به شکل ۵، در صورتی که از روش‌های مختلف به جای روش NAM استفاده شود ممکن است حداکثر دو یا سه گزینه از ٤٦ گزینه مدنظر تغییر وضعیت داده و در محدوده تصمیم‌گیری متفاوتی قرار گیرند.

منابع

Akbari, H.; Ebrahimi, M.H., 2016. Near field mixing of Multi-Diffuser Dense Jets in Shallow water condition and Ambient Currents. Iranian Hydraulic Association, Conference, Volume 15.

Basere, N.; Mohammadizadeh, M.; Sekhavati, E., 2013. Prioritizing the suitable areas for desalinization in coastal areas of west of Hormozgan province using TOPSIS method. 3rd National Conference on Health, Environment and Sustainable Development. In Persian, 1392.

Benayoun, R.; Roy, B.; Sussman, N., 1966. Manual de Reference du programme electre. Mote de Synthese et Formaton, No. 25, Direction Scientifique SEMA, Paris, France.

Brans J.P.; Vincke P., 1985. A preference ranking organization method (The PROMETHEE method for multiple criteria decision making). Management Science, 31(6): 647–656.
https://doi.org/10.1287/mnsc.31.6.647

Dawoud M.A.; Mulla M.M.A, 2012. Environmental Impacts of Seawater Desalination: Persian Gulf Case Study. International Journal of Environment and Sustainability, 1(3): 2- 37.
https://doi.org/10.24102/ijes.v1i3.96

Desalination, 326: 10-18.
https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.07.003

Liu, T-K.; Weng, T-H.; Sheu, H-Y., 2018. Exploring the environmental impact assessment commissioners' perspectives on the development of the seawater desalination project, Desalination, 428: 108-115.
https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.11.031

Mahmoud, M.R.; Fahmy, H.; Labadie, J.W., 2002. Multicriteria siting and sizing of desalination facilities with geographic information system, Journal of Water Resources Planning and Management 128(2).
https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2002)128:2(113)

Miller, D.W.; Starr, M.K., 1969. Executive Decisions and Operation Research. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc. 446P.

Mousavi, S.H.; Danehkar, A.; Shokri, M.R.; Poorbagher, H.; Javanshir, A.; Azhdari, H., 2011. Identification of Effective Criteria for Artificial Reefs Site Selection Using Analytical Hierarchy Process Methodology (A Case Study: Coral Reefs in the Kish Island). Journal of Oceanography, 2 (5): 47-58. In Persian, 1390.

Opricovic, S., 1998. Multicriteria optimization of civil engineering systems. PhD Thesis, Faculty of Civil Engineering, Belgrade, 302P.

Saaty, T.L., 1980. The analytic hierarchy process. New York, McGraw Hill, 296P.
https://doi.org/10.21236/ADA214804

Sale, P.F.; Feary, D.A.; Burt, J.A.; Bauman, A.G.; Cavalcante, G.H.; Drouillard, K.; Kjerfve, B.; Marquis, E.; Trick, C.; Usseglio, P., Van Lavieren, H., 2011. The Growing Need for Sustainable Ecological Management of Marine Communities of the Persian Gulf, AMBIO, 40(1): 4-17.
https://doi.org/10.1007/s13280-010-0092-6

Sayareh, J.; Alahyari, E.; 2017. Identifying and Prioritising Factors Influencing the Creation of Dry

Fishburn, P.C., 1967. Additive utilities with incomplete product set: Applications to priorities and assignments. Baltimore, MD: Operations Research Society of America (ORSA), 15(3): 537-542.
https://doi.org/10.1287/opre.15.3.537

Hajeeh, M.; Al-Othman, A., 2005. Application of the analytical hierarchy process in the selection of desalination plants. Desalination, 174(1), 97–108.
https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.09.005

Heck, N.; Paytan, A.; Potts, D.C.; Haddad, B.; Lykkebo, P.K., 2017. Management priorities for seawater desalination plants in a marine protected area: A multi-criteria analysis. Marine Policy, 86: 64-71.
https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.09.012

Hopner, T.; Lattemann, S., 2002. Chemical impacts from seawater desalination plants- a case study of the northern Red Sea, Desalination, 152: 133–140.
https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)01056-1

Huang, I.B.; Keisler, J.; Linkov, I., 2011. Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. Science of the Total Environment, 409(19), 3578–3594.
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.022

Hwang, C.L.; Yoon, K., 1981. Multiple attribute decision making, in lecture notes in economics and mathematical systems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 269P.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9

Kabir, G.; Sadiq, R.; Tesfamariam, S.; 2014. A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management. Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance, 10(9): 1176–1210.
https://doi.org/10.1080/15732479.2013.795978

Liu, T-K.; Sheu, H-Y.; Tseng, C-N., 2013. Environmental impact assessment of seawater desalination plant under the framework of integrated coastal management.

Persian Gulf aquatic system. Journal of Sustainability, Development and Environment, 11: 1-13. In Persian, 1395.

Tscheikner, G.F.; Egger, P.; Rauch, W.; Kleidorfer, M., 2017. Comparison of Multi-Criteria Decision Support Methods for Integrated Rehabilitation Prioritization. Water, 9(2): 1-28.

https://doi.org/10.3390/w9020068

Uddin, S., 2014. Environmental Impacts of Desalination Activities in the Persian Gulf. International Journal of Environmental Science and Development, 5 (2): 114-117.

https://doi.org/10.7763/IJESD.2014.V5.461

Zeleny, M., 1982. Multiple criteria decision making. New York: McGraw-Hill, 563P.

Ports in Iran by AHP Technique. Journal of Oceanography, 8 (30): 29-36. In Persian, 1396.

https://doi.org/10.29252/joc.8.30.29

Sepehr, M.; Fatemi, S.M.R.; Danehkar, A.; Mashinchian Moradi, A., 2017a. Application of Delphi method in site selection of desalination plants. Global Journal of Environmental Science Management, 3(1): 89-102.

Sepehr, M.; Danekar, A.; Fatemi, S.M.R.; Mashinchian, M.A., 2017b. Optimal locations for desalinization units considering the sensitive environmental zones in coastal areas of Hormozgan province. Remote sensing and geographic information system in natural resources, 26: 97-114. In Persian, 1396.

Taghavi, L.; Mohebian, M.; Saadatian, S., 2016. Investigating the effects of industrial desalinations on