

## استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی باکلی در تحلیل نظام یافته نقاط قوت، نقاط ضعف، فرصتها و تهدیدهای شوری زدایی گیاهی آبهای شور

ابوالفضل فرزی<sup>۱\*</sup>، رضا مقصودی<sup>۲</sup>

\*- گروه مهندسی عمران، واحد اسفراین، دانشگاه آزاد اسلامی، اسفراین، ایران

۲- گروه مهندسی عمران، مجتمع آموزش عالی اسفراین، اسفراین، ایران

\*ایمیل نویسنده مسئول: farzi@iauesf.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۶

### چکیده

شوری زدایی گیاهی آبهای شور یکی از روش‌های طبیعی و سازگار با محیط زیست است که با استفاده از گیاهان شورزیست در وتلندهای مصنوعی قابل انجام است. با توجه به نوظهور بودن این تکنولوژی، در این تحقیق به بررسی عوامل داخلی و خارجی و یا به عبارتی تحلیل نقاط قوت، نقاط ضعف، فرصتها و تهدیدهای (SWOT) آن پرداخته شده است. برای این کار ابتدا عوامل ذیل هر یک از گروه‌های چهارگانه SWOT شناسایی شده و با استفاده از نظر کارشناسان و به کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (آنالیز فازی بهبودیافته باکلی)، رتبه‌بندی شده‌اند. نتایج حاکی از آن است که عوامل ذیل گروه نقاط قوت، حائز پایین‌ترین رتبه‌ها گشته و در عوض عوامل ذیل گروه‌های نقاط ضعف، فرصتها و تهدیدها اولویت‌های بالاتری دارند. بر اساس این نتایج به نظر می‌رسد استراتژی‌هایی قابل اتخاذ برای توسعه این روش باید از نوع WO و WT باشند.

### کلمات کلیدی

"شوری زدایی گیاهی"، "تحلیل SWOT"، "تحلیل سلسله مراتبی فازی"، "آنالیز باکلی"

### مقدمه

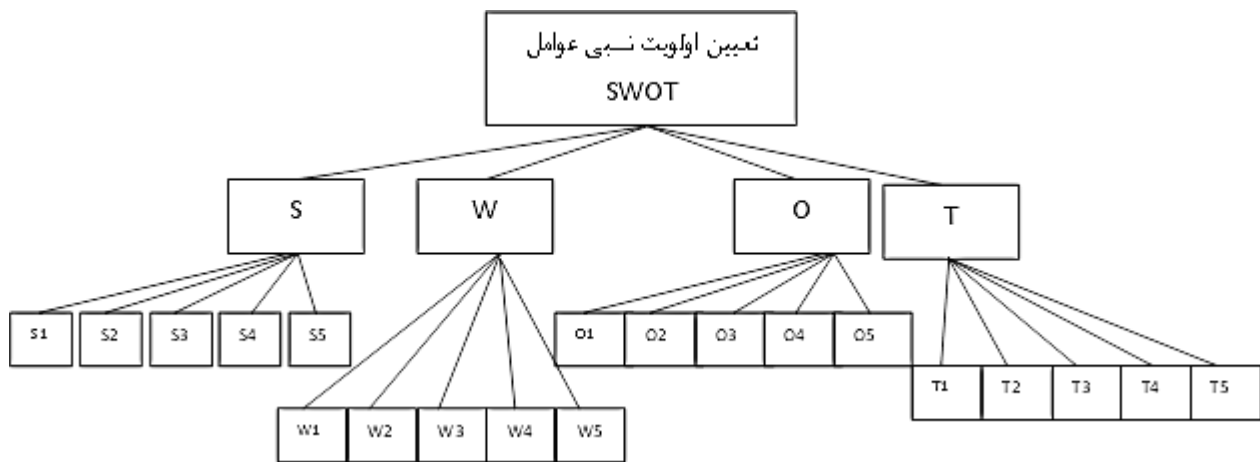
امروزه استفاده از تکنولوژی‌های جایگزین دوستدار محیط زیست در کاربردهای مختلف به عنوان یک ضرورت مطرح است. این فناوری‌ها در مقایسه با فناوری‌های رایج، کمتر به آلودگی محیط زیست منجر می‌شوند. یکی از فناوری‌های دوستدار محیط زیست که از مجموعه فناوری‌های زیستی محسوب می‌شود، گیاه‌پالایی است. گیاه‌پالایی، تکنولوژی نسبتاً نوظهوری است که گیاهان و میکروارگانیسم‌های مستقر در محیط ریشه‌ی آن‌ها را برای حذف، تجزیه یا جذب آلودگی‌های موجود در خاک، رسوبات، آب زیرزمینی، آب سطحی و حتی اتمسفر به کار می‌گیرد. محققین دریافته‌اند که گیاهان می‌توانند برای تصفیه بسیاری از انواع آلودگی از قبیل هیدروکربن‌های نفتی، حلال‌های کلردار، حشره‌کش‌ها، فلزات، رادیونوکلئیدها و مواد مغذی اضافی به کار روند (Ouyang, 2002). یکی از شاخه‌های گیاه‌پالایی که در یکی دو دهه اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته است، گیاه‌پالایی نمک و یا به عبارتی شوری زدایی گیاهی است. شوری زدایی گیاهی ابتدا به عنوان یک فناوری برای کاهش شوری خاک و در ادامه به عنوان روشی برای کاهش شوری آب و فاضلاب‌های شور، مورد استفاده واقع شده است. در شوری زدایی گیاهی از توانایی گیاهان شورزیست در خارج‌سازی و یا جذب نمک از محیط استفاده می‌شود (Shelef et al., 2012). گیاهان شورزیست گیاهانی هستند که قادرند چرخه زندگی خود را در غلظت‌های زیاد نمک تکمیل نمایند، شرایطی که اکثر گیاهان معمولی قادر به تحمل و ادامه حیات در آن شرایط نیستند (Flowers et al., 1986). استفاده از گیاهان شورزیست مختلف برای شوری زدایی گیاهی خاک در مطالعات متعددی مورد توجه بوده است. در این مطالعات، توانایی گیاهان شورزیست مختلف مانند سوئدا سالسا (KE-FU, 1991, Albaho and Green, 2000)، سوئدا فروتیکوسا (Rabhi et al., 2009, Zorrig et al., 2010, Devi et al., 2012) و سسویوم پورتولاکستروم (Rabhi et al., 2010, Zorrig et al., 2012) در شوری زدایی گیاهی خاک مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در کنار شوری زدایی گیاهی خاک‌های شور، تحقیقات در زمینه شوری-زدایی گیاهی آب و فاضلاب شور، نیز با توجه به کاهش منابع آب خام و لزوم استفاده از منابع نامتعارف آب نظیر آب‌های شور مورد توجه بوده است. استفاده از گیاه باسیا ایندیکا در سه آزمایش مختلف یعنی در سیستم هیدروپونیک، وتلند مصنوعی زیرسطحی جریان قائم و وتلند مصنوعی زیرسطحی جریان قائم همراه با بازچرخانی، برای کاهش شوری آب و فاضلاب شور (Shelef et al., 2012)، مطالعه کارایی هشت گونه‌ی گیاهی آتریپلکس پروستراتا، دیستیکلیس اسپیکاتا، جونکوس توری کویل، فراگمتیس استرالیس، اسپارتینا الترینفلورا، اسکونوپلکتوس تابرنائه موتتانی، تیفا آنگوستوفولیا، تیفا لاتیفولیا برای شوری زدایی گیاهی از محلول‌های شور به روش هیدروپونیک (Rozema et al., 2014)، مطالعه گیاه باسیا ایندیکا در وتلند مصنوعی زیرسطحی افقی به منظور تصفیه فاضلاب و کاهش شوری (Freedman et al., 2014) و استفاده از سه گیاه شورزیست سالیکورنیا اروپایی، سالسولا کرزا و بینرتیا سیکلوپترا در وتلند مصنوعی زیرسطحی افقی برای کاهش شوری فاضلاب (Farzi et al., 2017)، برخی از این مطالعات هستند. در کنار این مطالعات تجربی، می‌توان به مدلسازی گیاه‌پالایی نمک (Farzi & Borghei, 2019) و غربالگری گیاهان شورزیست برای استفاده در گیاه‌پالایی نمک (Farzi, 2020) نیز اشاره کرد. هرچند شوری زدایی گیاهی ز آبهای شور به عنوان یک فناوری نوظهور و دوستدار محیط زیست، در زمینه شوری زدایی با هدف تامین پایدار آب، امیدواری‌هایی ایجاد کرده است ولی بی‌تردید با محدودیت‌هایی همراه است که ممکن است استفاده از آن را به عنوان یک روش کاربردی تحت‌الشعاع قرار

ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای شوری‌زدایی گیاهی آب‌های شور توسط وتلند مصنوعی حاوی گیاهان هالوفیت، با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی (آنالیز بهبود یافته باکلی)، اولویت‌های محلی و کلی عوامل ذیل هر کدام از گروه‌های چهارگانه SWOT محاسبه شده است و عوامل با اولویت‌های بالاتر و در نتیجه انواع استراتژی‌های قابل اتخاذ شناسایی گردیده است.

#### ۱- روش انجام تحقیق

در این تحقیق ابتدا یک تحلیل محیطی درباره شوری‌زدایی گیاهی آب‌های شور انجام شد و نقاط قوت، نقاط ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای (SWOT) آن شناسایی گردید. در شناسایی عوامل SWOT، از مراجع مکتوب و نظر کارشناسان استفاده شد. کارشناسان مورد سؤال در این تحقیق شامل یک گروه ۱۰ نفره از متخصصین آشنا با گیاه-پالایی نمک بوده است. پس از انجام تحلیل SWOT، عوامل شناسایی شده ذیل هر یک از گروه‌های چهارگانه SWOT با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی و براساس مقایسه‌های زوجی انجام شده توسط کارشناسان اولویت‌بندی گردید. در واقع در این تحقیق، تحلیل SWOT در قالب یک مساله تصمیم‌گیری چندمعیاره ملاحظه شده است. ساختار این مساله در شکل ۱ آورده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، بر خلاف مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره معمولی، در این مساله سطح گزینه‌ها وجود نداشته و مساله شامل سه سطح هدف، گروه‌ها و عوامل است که با تطبیق آن به مسائل معمولی تصمیم‌گیری چندمعیاره، این سطوح معادل سطوح هدف، معیارها و زیرمعیارها در این مسائل خواهند بود. پس از تعیین ساختار سلسله مراتبی مساله، ابتدا پرسشنامه‌ای برای مقایسه زوجی عوامل SWOT تهیه و در اختیار متخصصین قرار داده شد. در این مرحله، هر یک از کارشناسان به طور جداگانه ۴۰ مقایسه زوجی انجام دادند (۱۰ مقایسه برای هر گروه). کارشناسان مقایسه‌های زوجی را با استفاده از عبارات کلامی مندرج در مقیاس ۹ درجه ای ساعتی (جدول ۱) انجام دادند. با قرار دادن معادل عددی فازی این عبارات کلامی و استفاده از آنالیز فازی بهبود یافته باکلی، اولویت‌های نسبی محلی از عوامل SWOT محاسبه شد. آنالیز بهبود یافته باکلی یکی از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی فازی است که توسط Buckley (1985) ارائه شده است. هرچند اعداد فازی مورد استفاده توسط Buckley (1985)، از نوع اعداد فازی دوزنقه‌ای بود، با این حال روش ارائه شده توسط او با اعداد فازی مثلثی نیز قابل اجرا است. اعداد فازی مثلثی (TFN) به شکل  $M = (l, m, u)$  نمایش داده می‌شوند، که پارامترهای  $l$ ،  $m$  و  $u$  به ترتیب نشانگر کران پایین، عدد میانی و کران بالای عدد فازی هستند. در این تحقیق، عبارت‌های کلامی مورد استفاده در مقیاس نه درجه ساعتی با اعداد فازی مثلثی مندرج در جدول (۱) جایگزین شده‌اند و آنالیز فازی بهبود یافته باکلی با این اعداد مورد استفاده قرار گرفته است.

دهد. به نظر می‌رسد انجام یک تحلیل SWOT با هدف شناسایی نقاط قوت، نقاط ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای مربوط به این روش و تدوین استراتژی‌های مربوط به آن برای ترسیم آینده‌ای روشن‌تر برای این تکنولوژی، می‌تواند مفید باشد. تحلیل SWOT یک ابزار معمول برای آنالیز محیط داخلی و خارجی سیستم‌ها (اعم از سازمان‌ها و بخش‌های اقتصادی، صنعتی و زیست‌محیطی) است. مهم‌ترین عوامل داخلی و خارجی مرتبط با آینده سیستم، عوامل راهبردی نامیده شده و در تحلیل SWOT خلاصه می‌شوند. هدف نهایی فرایند برنامه‌ریزی راهبردی، که SWOT در مراحل اولیه آن قرار دارد، توسعه و انتخاب استراتژی‌هایی است که بهترین تطبیق را با عوامل داخلی و خارجی داشته باشند (Kurttila et al. 2000). یکی از کاستی‌های تحلیل SWOT جنبه کیفی آن است، به طوری که در این روش صرفاً تعدادی از عوامل در گروه‌های قوت، ضعف، فرصت و تهدید تعیین می‌شود بدون این که به اهمیت نسبی این عوامل و گروه‌ها اشاره گردد. (Kurttila et al. 2000) در این راستا و به منظور رفع این کاستی، برخی از محققین استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره را برای تعیین اهمیت نسبی عوامل و گروه‌های SWOT مورد استفاده قرار داده‌اند. یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است که توسط Saaty (1980) ارائه شده و به دلیل قدمت، بیش از سایر روش‌ها در این زمینه مورد استفاده قرار گرفته است. روش تلفیقی AHP-SWOT توسط محققین مختلف برای مدیریت جنگل‌ها (Kurttila et al. 2000)، مدیریت آب در مناطق خشک (Chitsaz and Azarnivand 2017)، مدیریت زباله‌های معدنی در ایران (Shahba et al. 2017)، استقرار انرژی خورشیدی در هند (Sindhu et al. 2017)، مدیریت ایستگاه‌های بیوگاز کشاورزی در اتریش (Brudermann et al. 2015) و آنالیز سرمایه‌گذاری خصوصی در بخش بیوگاز چین (Gottfried et al. 2018)، مورد استفاده قرار گرفته است. هرچند استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای تعیین اولویت نسبی عوامل SWOT گام مهمی در کمی‌سازی تحلیل SWOT محسوب می‌شود، ولی به دلیل استفاده از عبارت‌های کلامی در این روش‌ها و قابلیت بهتر تئوری مجموعه‌های فازی برای مدلسازی ریاضی این عبارت‌های کلامی، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی نیز در زمینه به کار گرفته شده‌اند. روش تحلیلی سلسله مراتبی فازی (FAHP)، یکی از این روش‌ها است که در برخی از تحقیقات برای تعیین اولویت نسبی عوامل SWOT استفاده شده است. تعیین استراتژی برای بخش خودروسازی ترکیه (Karatop et al. 2018)، انتخاب استراتژی برای منابع انرژی تجدیدپذیر پاکستان (Wang and Solangi, 2020)، برنامه‌ریزی استفاده در محل آب خاکستری در ایران (Farzi & Mehrabadi, 2020) و برنامه‌ریزی آب شیرین‌کن‌های حرارتی خورشیدی در ایران (Gholizadeh et al. 2021) برخی از این تحقیقات هستند. در این مقاله، پس از شناسایی نقاط قوت، نقاط



شکل ۱- ساختار سلسله مراتبی مسئله

جدول ۱- تبدیل عبارات کلامی به اعداد فازی مثلثی

عدد فازی مثلثی معادل	عبارت کلامی
(1,1,1)	ترجیح یکسان
(2,3,4)	کمی مرجح
(4,5,6)	خیلی مرجح
(6,7,8)	خیلی زیاد مرجح
(9,9,9)	کاملاً مرجح

دیگر میانگین هندسی کران‌های بالا و پایین اعداد فازی ماتریس تصمیم است.

**مرحله دوم:** تجمیع ماتریس‌های مقایسه زوجی کارشناسان و تشکیل ماتریس تصمیم

اگر ماتریس  $\tilde{A}_k$  ماتریس مقایسه زوجی فازی مربوط کارشناس  $k$  ام باشد و درایه‌های آن را  $\tilde{a}_{ij}^k$  بنامیم که  $i$  و  $j$  شاخص سطر و ستون ماتریس و  $k$  شاخص کارشناس باشد، ماتریس تجمیع شده  $\tilde{A}$  را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} \prod_{k=1}^m \tilde{a}_{11}^k & \dots & \prod_{k=1}^m \tilde{a}_{1n}^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \prod_{k=1}^m \tilde{a}_{m1}^k & \dots & \prod_{k=1}^m \tilde{a}_{nn}^k \end{bmatrix} \quad (1)$$

به عبارتی درایه‌های ماتریس تجمیع شده، میانگین هندسی درایه‌های نظیر در ماتریس‌های مربوط به کارشناسان است. یعنی:

$$\tilde{a}_{ij} = \prod_{k=1}^m \tilde{a}_{ij}^k \quad (2)$$

در روابط فوق،  $m$  تعداد کارشناسان و  $n$  تعداد معیارهای یا گزینه‌های مورد مقایسه است. برای محاسبه میانگین هندسی اعداد فازی می‌توانیم به ترتیب زیر عمل کنیم:

پس از محاسبه اولویت‌های نسبی عوامل در هر گروه، عامل با بالاترین اولویت در هر گروه به عنوان نماینده آن گروه انتخاب شد تا با مقایسه آنها، وزن یا اولویت نسبی گروه‌های چهارگانه SWOT تعیین شوند. بنابراین یک پرسشنامه جدید برای مقایسه نمایندگان گروه‌ها تهیه و برای کارشناسان ارسال شد. آنها چهار گروه SWOT را در این مرحله مقایسه کردند، بنابراین ۶ مقایسه زوجی در این مرحله توسط هر کدام از کارشناسان انجام شد. در این مرحله نیز با استفاده از آنالیز فازی بهبود یافته باکلی، وزن گروه‌ها محاسبه شد. در نهایت اولویت کلی هر عامل با ضرب اولویت محلی آن عامل در وزن گروه مربوطه محاسبه شد. همانطور که گفته شد، در این تحقیق برای اولویت‌بندی عوامل SWOT از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (آنالیز بهبود یافته باکلی) استفاده شد. مراحل روش آنالیز بهبود یافته باکلی را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

**مرحله اول:** بررسی سازگاری مقایسه‌ها

در این روش پس از انجام مقایسه‌های زوجی توسط کارشناسان، ماتریس مقایسه زوجی مربوط به هر کارشناس، از حیث سازگاری، بررسی می‌شود. برای این منظور از روش گوگوس و بوچر (۱۹۹۷) استفاده شد. در این روش ماتریس تصمیم فازی به دو ماتریس ساده تفکیک شده و محاسبات سازگاری بر روی این دو ماتریس با روشی شبیه بررسی سازگاری در روش AHP انجام می‌شود. یکی از این دو ماتریس، شامل اعداد میانی اعداد فازی ماتریس تصمیم و ماتریس

$$w_i = \frac{l'_i + 4m'_i + u'_i}{6} \quad (7)$$

$w_i$  های به دست آمده، وزن های غیرفازی شده هستند که ممکن است در فرایند غیرفازی شدن، نرمال بودن خود را از دست داده باشند، بنابراین این وزن های غیر فازی را نرمال کرده و به عنوان وزن های نهایی، مورد استفاده قرار می دهیم.

### ۳- نتایج

در این تحقیق، ابتدا یک تحلیل SWOT استاندارد برای شناسایی عوامل داخلی و خارجی که بر آینده شوری زدایی گیاهی آب های شور تأثیر می گذارد انجام شد. برای این منظور همان طور که در بخش قبل گفته شد، تعدادی از عوامل در هر گروه توسط نویسندگان شناسایی و با استفاده از نظرات کارشناسان تعدیل گردید و در نهایت برای هر گروه، پنج عامل شناسایی شد که در جدول ۲ آورده شده اند. پس از انجام تحلیل SWOT و تعیین عوامل ذیل هر یک از گروه های نقاط قوت، نقاط ضعف، فرصت ها و تهدیدها، نوبت به رتبه بندی آنها رسید. برای رتبه بندی از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی فازی (آنالیز فازی بهبود یافته باکلی) استفاده شد. در این قسمت، ابتدا عوامل داخل هر یک از گروه ها، رتبه بندی شده و سپس عامل با بالاترین اولویت در هر گروه به عنوان نماینده گروه، برای مقایسه گروه ها تعیین شد تا وزن گروه ها تعیین شود. در نهایت اولویت کلی عوامل با ضرب وزن گروه مربوطه در اولویت محلی عوامل، اولویت کلی آنها محاسبه شد.

$$\prod_{k=1}^m \tilde{a}_{ij}^k = \left( \prod_{k=1}^m l_{ij}^k, \prod_{k=1}^m m_{ij}^k, \prod_{k=1}^m u_{ij}^k \right) \quad (3)$$

**مرحله سوم:** محاسبه میانگین هندسی سطرها  
نتایج مقایسه های زوجی هر عامل با عوامل دیگر که همان درایه های روی سطرهای ماتریس تصمیم هستند را با استفاده از میانگین هندسی با یکدیگر ترکیب می کنیم تا بردار میانگین های هندسی  $\tilde{S}$  را محاسبه کنیم. بنابراین:

$$\tilde{s}_i = \prod_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \quad (4)$$

**مرحله چهارم:** نرمال کردن بردار میانگین های هندسی  
برای نرمال کردن بردار میانگین های هندسی، هر یک از درایه های این بردار را بر مجموع درایه های آن تقسیم می کنیم. بنابراین اگر  $\tilde{w}_i$  درایه بردار نرمال باشد، داریم:

$$\tilde{w}_i = \tilde{s}_i \oslash \sum_{i=1}^n \tilde{s}_i \quad (5)$$

یعنی اگر  $\tilde{s}_i = (l_i, m_i, u_i)$  باشد:

$$\tilde{w}_i = \left( \frac{l_i}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{u_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (6)$$

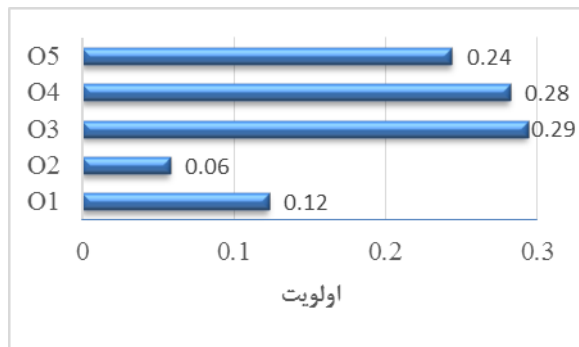
مرحله پنجم: غیرفازی کردن بردار نرمال وزن  
اگر وزن فازی  $\tilde{w}_i = (l'_i, m'_i, u'_i)$  را در نظر بگیریم، آنگاه با استفاده از رابطه زیر، وزن مذکور را غیر فازی می کنیم:

جدول ۲- نقاط قوت، نقاط ضعف، فرصت ها و تهدیدهای شوری زدایی گیاهی آب های شور

نقاط قوت - S	فرصت ها - O
۱- سازگاری با محیط زیست (S1) ۲- محصولات جانبی در صورت استفاده از گیاهان مفید (S2) ۳- مقرون به صرفه بودن در مقابل روش های دیگر (S3) ۴- راندمان تصفیه قابل قبول (S4) ۵- امکان لینک شدن با روش های تولید بیوانرژی (S5)	۱- وجود تنوع زیستی بالای هالوفیت ها (O1) ۲- ردپای انرژی و کربن بالا در روش های نمک زدایی دیگر (O2) ۳- کاهش منابع آب و روی آوری به منابع نامتعارف (O3) ۴- وجود منابع عظیم آب شور (دریاها و رودخانه های شور) (O4) ۵- امکان استفاده از مهندسی ژنتیک برای اصلاح خصوصیات مربوط به تحمل شوری (O5)
نقاط ضعف - W	تهدیدها - T
۱- وابسته بودن به تبخیر و تعرق (W1) ۲- پیچیدگی در سیستم ها بر مبنای گیاه و مشکلات مدیریت آنها (W2) ۳- عدم قابلیت استفاده اکثر شورزیست ها به عنوان گیاه زراعی مفید (W3) ۴- مشکل دفع بیومس و امکان بازگشت نمک در اثر آن (W4) ۵- کند بودن فرایند و زمان زیاد برای رشد (W5)	۱- عدم درک بحران آب و لزوم روی آوری به منابع نامتعارف (T1) ۲- عدم اختصاص اولویت پژوهشی توسط پژوهشگران عرصه بیوتکنولوژی و گیاه پالایی (T2) ۳- نبود روش های نظام یافته برای انتخاب گونه های مناسب (T3) ۴- نبود مشوق های مالی مناسب و عدم مشارکت بخش های اقتصادی مرتبط در تحقیقات شوری (T4) ۵- امکان انقراض بعضی از گونه های گیاهی مناسب (T5)

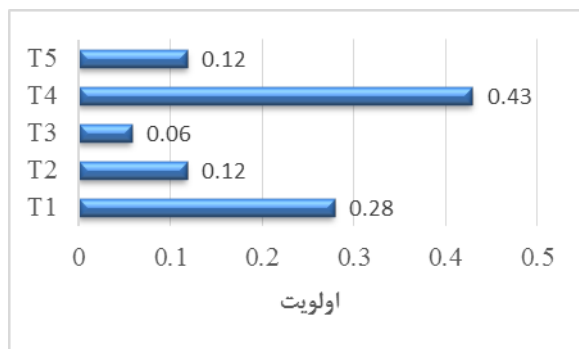
اولین گروه از گروه های چهارگانه SWOT گروه S یا نقاط قوت است. مقادیر اولویت های محلی محاسبه شده برای عوامل این گروه، در شکل ۲ آورده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود، عامل S1 یعنی "سازگاری با محیط زیست" از بالاترین اولویت برخوردار بوده (p=0.47)، پس از آن عامل S4 یعنی راندمان تصفیه

قابل قبول (p=0.2)، عامل S3 یعنی مقرون به صرفه بودن در مقابل روش های دیگر (p=0.18)، عامل S5 یعنی امکان لینک شدن با روش های تولید بیوانرژی (p=0.09) و عامل S2 یعنی محصولات جانبی در صورت استفاده از گیاهان مفید (p=0.07) به ترتیب در رتبه های دوم تا پنجم قرار گرفته اند. گروه دوم از گروه های چهارگانه



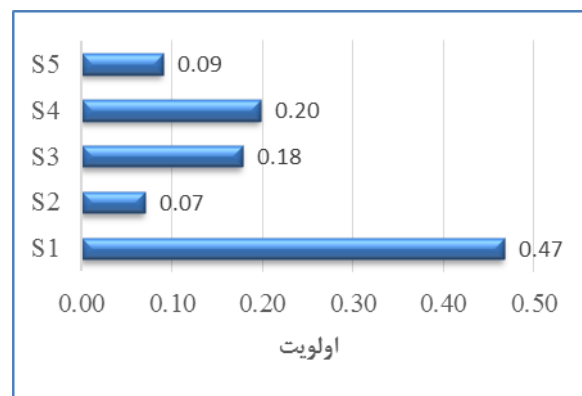
شکل ۴- اولویت‌های محلی عوامل گروه فرصت‌ها

آخرین گروه از گروه‌های چهارگانه SWOT گروه T یا گروه تهدیدها است. عامل‌های ذیل این گروه، توسط کارشناسان، با استفاده از متغیرهای کلامی مقایسه شدند. نتایج اولویت‌های محلی محاسبه شده برای عوامل این گروه، در شکل ۵ آمده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود، عامل T<sub>4</sub> یعنی " نبود مشوق‌های مالی مناسب و عدم مشارکت بخش‌های اقتصادی مرتبط در تحقیقات شوری " از بالاترین اولویت برخوردار بوده (p=0.43)، پس از آن عامل T<sub>1</sub> یعنی عدم درک بحران آب و لزوم روی‌آوری به منابع نامتعارف (p=0.28)، عامل T<sub>5</sub> یعنی امکان انقراض بعضی از گونه‌های گیاهی مناسب (p=0.12)، عامل T<sub>2</sub> یعنی عدم اختصاص اولویت پژوهشی توسط پژوهشگران عرصه بیوتکنولوژی و گیاه‌پالایی (p=0.12) و عامل T<sub>3</sub> یعنی نبود روش‌های نظام‌یافته برای انتخاب گونه‌های مناسب (p=0.06) به ترتیب در رتبه‌های دوم تا پنجم قرار گرفته‌اند. در روش تحلیل SWOT-FAHP پس از تحلیل عوامل ذیل هر گروه، عامل با بالاترین اولویت محلی، به عنوان نماینده آن گروه برای مقایسه گروه‌ها انتخاب شده و نتایج نهایی حاصل از مقایسه این نماینده‌ها، به عنوان وزن گروه در نظر گرفته می‌شود. همانطور که از مباحث پیشین مشخص گردید، عامل با بالاترین اولویت محلی در هر یک از گروه‌های چهارگانه SWOT به شرح مندرج در جدول ۳ به دست آمد. بنابراین این عوامل به عنوان نماینده‌های گروه‌های چهارگانه، توسط کارشناسان با یکدیگر مقایسه شدند تا وزن گروه‌ها محاسبه گردد. نتایج حاصل از محاسبه وزن‌های گروه‌ها در شکل ۶ آورده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، دو گروه نقاط ضعف و فرصت‌ها به طور مشترک از بالاترین وزن و رتبه برخوردار بوده (p=0.353) و پس از آنها، گروه تهدیدها در رتبه دوم (p=0.214) و گروه نقاط قوت در رتبه سوم (p=0.08) قرار گرفته‌اند.

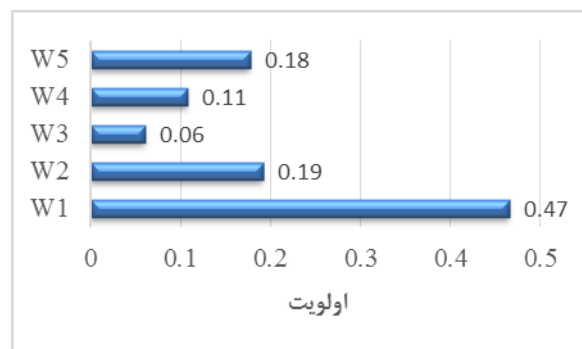


شکل ۵- اولویت‌های محلی عوامل گروه تهدیدها

گروه SWOT یا نقاط ضعف است. عامل‌های ذیل این گروه نیز توسط کارشناسان، با استفاده از متغیرهای کلامی مقایسه شدند. نتایج اولویت‌های محلی حاصل برای عوامل این گروه در شکل ۳ آورده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، عامل W<sub>1</sub> یعنی "وابسته بودن به تخییر و تعرق " از بالاترین اولویت برخوردار بوده (p=0.47)، پس از آن عامل W<sub>2</sub> یعنی پیچیدگی در سیستم‌ها بر مبنای گیاه و مشکلات مدیریت آنها (p=0.19)، عامل W<sub>5</sub> یعنی بودن فرایند و زمان زیاد برای رشد (p=0.18)، عامل W<sub>4</sub> یعنی مشکل دفع بیومس و امکان بازگشت نمک در اثر آن (p=0.11) و عامل W<sub>3</sub> یعنی عدم قابلیت استفاده اکثر شورزیست‌ها به عنوان گیاه زراعی مفید (p=0.06) به ترتیب در رتبه‌های دوم تا پنجم قرار گرفته‌اند. سومین گروه از گروه‌های چهارگانه SWOT گروه O یا فرصت‌ها است. نتایج حاصل از مقایسات عامل‌های ذیل این گروه و تعیین اولویت‌های محلی آنها در شکل ۴ آورده شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود، عامل O<sub>3</sub> یعنی " کاهش منابع آب و روی‌آوری به منابع نامتعارف " از بالاترین اولویت برخوردار بوده (p=0.29)، پس از آن عامل O<sub>4</sub> یعنی وجود منابع عظیم آب شور (دریاها و رودخانه‌های شور) (p=0.28)، عامل O<sub>5</sub> یعنی امکان استفاده از مهندسی ژنتیک برای اصلاح خصوصیات مربوط به تحمل شوری (p=0.24)، عامل O<sub>1</sub> یعنی وجود تنوع زیستی بالای هالوفیت‌ها (p=0.12) و عامل O<sub>2</sub> یعنی ردپای انرژی و کربن بالا در روش‌های نمک زدایی دیگر (p=0.06) به ترتیب در رتبه‌های دوم تا پنجم قرار گرفته‌اند.



شکل ۲- اولویت‌های محلی عوامل گروه نقاط قوت



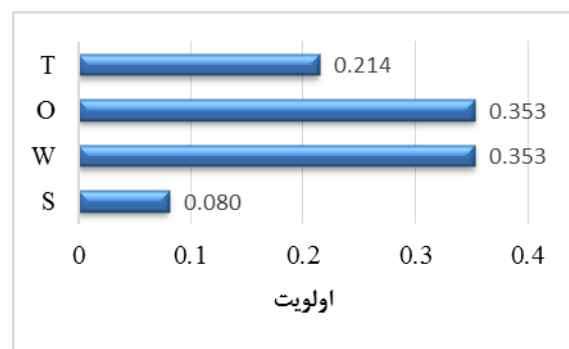
شکل ۳- اولویت‌های محلی عوامل گروه نقاط ضعف

جدول ۳- نماینده‌های گروه‌های چهارگانه

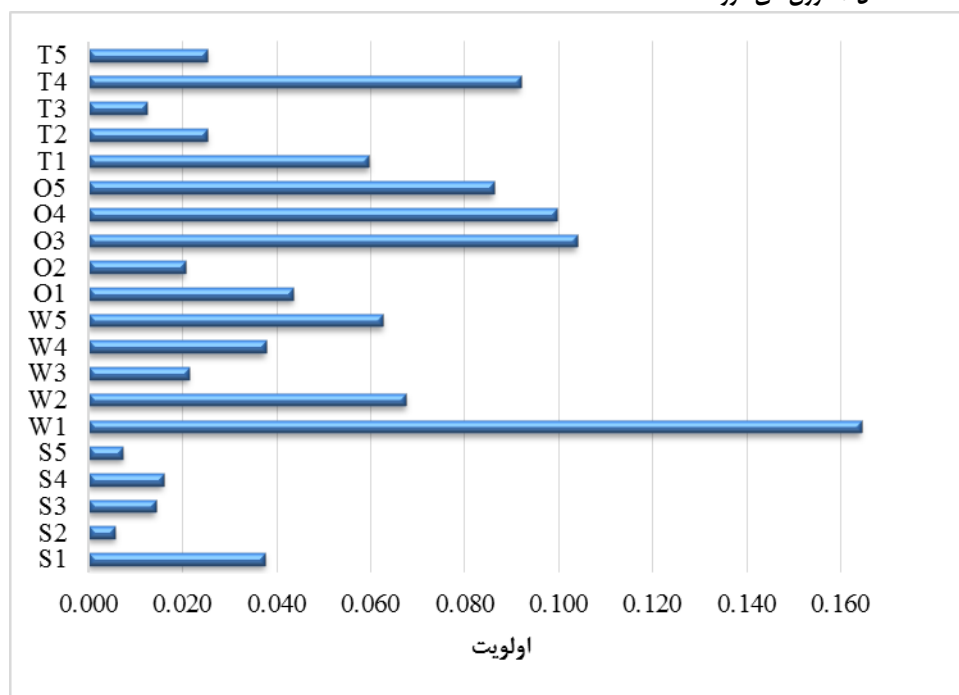
گروه	نماینده گروه	شرح عامل نماینده
S	S <sub>1</sub>	سازگاری با محیط زیست
W	W <sub>1</sub>	وابسته بودن به تبخیر و تعرق
O	O <sub>3</sub>	کاهش منابع آب و روی آوری به منابع نامتعارف
T	T <sub>4</sub>	نبود مشوق‌های مالی مناسب و عدم مشارکت بخش‌های اقتصادی مرتبط در تحقیقات شوری

رتبه دوم کلی از آن عامل T<sub>4</sub> از گروه تهدیدها است. این عامل نبود مشوق‌های مالی مناسب و عدم مشارکت بخش‌های اقتصادی مرتبط در تحقیقات شوری است. بنابراین از نظر کارشناسان، پس از رفع مشکل وابستگی به تبخیر و تعرق، تکمیل تحقیقات در سایه مشوق‌های مالی، از مهمترین عوامل در موفقیت روش گیاه‌پالایی نمک در وتلندهای مصنوعی است. رتبه سوم از آن یک عامل مثبت یعنی عامل O<sub>3</sub> از گروه فرصت‌ها است. این عامل که کاهش منابع آب و روی آوری به منابع نامتعارف است، به عنوان یک فرصت مهم در پیش روی این روش است. در واقع این روش به عنوان یکی از راه‌حل‌های بحران آب می‌تواند ایفای نقش کند. رتبه چهارم نیز به یک فرصت تعلق دارد. این عامل، عامل O<sub>4</sub> یعنی وجود منابع عظیم آب شور (دریاها و رودخانه‌های شور) است. عاملی که به عنوان یک ورودی بی‌پایان، موفقیت این روش را از نظر پایداری ورودی تامین می‌کند. رتبه پنجم نیز به یک تهدید تعلق دارد. این تهدید یعنی عامل T<sub>4</sub> عبارت از عدم درک بحران آب و لزوم روی آوری به منابع نامتعارف، است. این عدم درک، هم بین مردم و هم بین مدیران بخش آب وجود دارد. بنابراین لازم است آموزش‌های لازم در این زمینه صورت گیرد تا این درک تقویت گردد. همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، عوامل گروه نقاط قوت، از پایین‌ترین اولویت‌های کلی برخوردار هستند. با توجه به این مطلب به نظر می‌رسد استراتژی‌های اتخاذی برای آینده این روش، باید از نوع استراتژی‌های WO و WT باشند.

مرحله پایانی کار، محاسبه اولویت‌های کلی عوامل است. برای این کار، وزن هر یک از گروه‌ها در اولویت محلی عوامل ذیل آن گروه ضرب شد. نتایج این کار در شکل ۸ آورده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود رتبه ۱ مربوط به عامل W<sub>1</sub> از گروه نقاط ضعف است. این عامل همان مشکل اساسی روش گیاه‌پالایی نمک در وتلندهای مصنوعی یعنی وابستگی به تبخیر و تعرق است. تبخیر از سطح مدیای وتلند و تعرق از گیاهان در کنار جریان کاپیلاری رو به بالا در وتلند باعث می‌شود که سطوح فوقانی وتلند پس از مدتی مملو از نمک شود. این سطح شور باعث شوری بیشتر آب ورودی به وتلند خواهد شد. بنابراین مهم‌ترین قدم در موفقیت این روش، کنترل تبخیر و تعرق و کاهش میزان آن است.



شکل ۷- وزن‌های گروه‌ها



شکل ۴- اولویت‌های کلی عوامل SWOT

#### ۴- نتیجه گیری

عامل کلی، ده عامل اول به ترتیب ضعف، تهدید، فرصت، فرصت، تهدید، فرصت، ضعف، ضعف، تهدید و فرصت هستند. به عبارت دیگر از ده عامل اول سه عامل، ضعف، ۳ عامل تهدید و ۴ عامل، فرصت هستند. بنابراین به نظر می رسد، استراتژی‌های انتخابی برای این سیستم باید از نوع WT و WO باشند. برخی از این استراتژی‌ها می توانند، حمایت مالی از تحقیقات مربوط به شوری-زدایی گیاهی، توسعه آموزش‌ها در جهت افزایش درک و پذیرش مردم و مدیران مربوط، استفاده از ظرفیت‌های تحقیقاتی خصوصا در زمینه مهندسی ژنتیک برای کاهش تعرق در گیاهان شورزیست و توسعه تحقیقات در جهت بهبود فرایند و افزایش راندمان روش‌های شوری‌زدایی گیاهی، باشند.

تحلیل نظام‌مند نقاط قوت، نقاط ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای (SWOT) مربوط به شوری‌زدایی گیاهی آب‌های شور در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفت. با مراجعه به منابع مکتوب و نظر کارشناسان در هر یک از گروه‌های چهارگانه SWOT پنج عامل شناسایی شد و با استفاده از نظرات کارشناسان و کاربرد فرایند تحلیلی سلسله مراتبی فازی - آنالیز بهبود یافته باکلی، این عوامل رتبه بندی شدند. بر اساس نتایج به دست آمده، مشخص شد که در بین گروه‌های چهارگانه، از لحاظ وزن به دست آمده، دو گروه نقاط ضعف و فرصت‌ها، به طور مشترک در رتبه اول و گروه تهدیدها و نقاط قوت به ترتیب در جایگاه‌های بعد قرار گرفته‌اند. بر این اساس و با توجه به اولویت‌های کلی محاسبه شده برای عوامل، در بین ۲۰

#### منابع

- Ouyang, Y. (2002). Phytoremediation: modeling plant uptake and contaminant transport in the soil-plant-atmosphere continuum. *Journal of Hydrology*, 266(1-2), 66-82.
- Shelef, O., A. Gross, and S. Rachmilevitch, The use of *Bassia indica* for salt phytoremediation in constructed wetlands. *water research* 2012. 46: p. 3967-3976.
- Flowers, T.J., M.A. Hajibagheri, and N.J.W. Clipson, Halophytes. *The Quarterly Review of Biology*, 1986. 61(3): p. 313-337.
- KE-FU, Z., Desalination of saline soils by *Suaeda salsa*. *Plant and Soil*, 1991. 135: p. 303-305.
- Albaho, M. S., & Green, J. L. (2000). *Suaeda salsa*, A Desalinating Companion Plant for Greenhouse Tomato. *HORTSCIENCE*, 35(4), 620-623.
- Rabhi, M., Hafsi, C., Lakhdar, A., Hajji, S., Barhoumi, Z., Hamrouni, M. H., . . . Smaoui, A. (2009). Evaluation of the capacity of three halophytes to desalinate their rhizosphere as grown on saline soils under nonleaching conditions. *African Journal of Ecology*, 47(4), 463-468.
- Zorrig, W., Rabhi, M., Ferchichi, S., Smaoui, A., & Abdelly, C. (2012). Phytodesalination: a Solution for Salt-affected Soils in Arid and Semi-arid Regions. *Journal of Arid Land Studies*, 22(1), 299 -302.
- Devi, S., Nandwal, A., Angrish, R., Arya, S., Kumar, N., & Sharma, S. (2016). Phytoremediation potential of some halophytic species for soil salinity. *International Journal of Phytoremediation*, 18(7), 00-00.
- Rabhi, M., et al., Phytodesalination of a salt-affected soil with the halophyte *Sesuvium portulacastrum* L. to arrange in advance the requirements for the successful growth of a glycophytic crop. *Bioresource Technology*, 2010. 101 p. 6822-6828.
- Rozema, E.R., Gordon, R.J., Zheng, Y., 2014. Plant Species for the Removal of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> from Greenhouse Nutrient Solution. *HortScience* 49, 1071-1075.
- Freedman, A., et al., Salt uptake and evapotranspiration under arid conditions in horizontal subsurface flow constructed wetland planted with halophytes. *Ecological Engineering*, 2014. 70: p. 282-286.
- Farzi, A., Borghei, S.M., Vossoughi, M., 2017. The Use of Halophytic Plants for Salt Phytoremediation in Constructed Wetlands. *International Journal of Phytoremediation*, 00-00.
- Farzi, A., Borghei, M., Vossoughi, M. (2018). Efficiency of *Salicornia Europea* in Phytoremediation of Salt in Saline Water. *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab* ( in persian ), 28(6), 1-9. doi: 10.22093/wwj.2017.45873
- Farzi, A., Borghei, S. (2019). Modeling of salt phytoremediation in constructed wetlands containing halophytic plants using Artificial Neural Network. *Journal of Environmental Science Studies*, 4(2), 1373-1380.



- Farzi, A. (2020). Screening of Halophytic Plants for the Use in Salt Phytoremediation: A Systematic Approach Based on Multi-criteria Decision Making. *Journal of Environmental Science Studies*, 5(1), 2352-2359.
- Kurttila, M., et al., Utilizing the analytic hierarchy process (AHP) in SWOT analysis—a hybrid method and its application to a forest-certification case. *Forest policy and economics*, 2000. 1(1): p. 41-52.
- Chitsaz N and Azarnivand A (2017) Water scarcity management in arid regions based on an extended multiple criteria technique. *Water Resources Management* 31(1):233-250
- Shahba S, Arjmandi R, Monavari M and Ghodusi J (2017) Application of multi-attribute decision-making methods in SWOT analysis of mine waste management (case study: Sirjan's Golgohar iron mine, Iran). *Resources Policy* 51:67-76
- Sindhu S, Nehra V and Luthra S (2017) Solar energy deployment for sustainable future of India: Hybrid SWOC-AHP analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 72:1138-1151
- Brudermann T, Mitterhuber C and Posch A (2015) Agricultural biogas plants—A systematic analysis of strengths, weaknesses, opportunities and threats. *Energy Policy* 76:107-111
- Gottfried, O., De Clercq, D., Blair, E., Weng, X., & Wang, C. (2018). SWOT-AHP-TOWS analysis of private investment behavior in the Chinese biogas sector. *Journal of Cleaner Production*, 184, 632-647.
- Karatop, B., Kubat, C., & Uygun, Ö. (2018). Determining the strategies on Turkish automotive sector using fuzzy AHP based on the SWOT analysis. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(5), 1314-1325.
- Wang, Y., Xu, L., & Solangi, Y. A. (2020). Strategic renewable energy resources selection for Pakistan: Based on SWOT-Fuzzy AHP approach. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101861.
- Farzi, A., Mehrabadi, J. (2019). Systematic Analysis of Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats of On-site Greywater Reuse in Iran Based on Fuzzy Analytical Hierarchy Process. *Iran-Water Resources Research*, 15(4), 328-339.
- Gholizadeh, M., Farzi, A., Masoomi, S. (2021). Solar Desalination in Iran – a SWOT analysis using Fuzzy AHP. *Journal of Environmental Science Studies*, 6(1), 3352-3359
- Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy sets and systems*, 17(3), 233-247.
- Gogus, O., & Boucher, T. O. (1997). A consistency test for rational weights in multi-criterion decision analysis with fuzzy pairwise comparisons. *Fuzzy sets and Systems*, 86(2), 129-138.



# Using Buckley Fuzzy Hierarchical Analysis Process in Systematic Analysis of Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats of Phytodesalination

Abolfazl Farzi<sup>1\*</sup> ; Reza Maghsoodi<sup>2</sup>

\*1. Department of Civil Engineering, Esfarayen Branch, Islamic Azad University, Esfarayen, Iran

2. Department of Civil Engineering, Esfarayen University, Esfarayen, Iran

\*Email Address : farzi@iauesf.ac.ir

## Abstract

### Introduction

Today, the use of environmentally friendly alternative technologies in various applications is a necessity. These technologies are less likely to lead to environmental pollution than conventional technologies. One of the environmentally friendly technologies as a subset of biotechnologies is phytoremediation. One of the branches of phytoremediation that has been considered by researchers in the last two decades is salt phytoremediation or in other words, phytodesalination. Phytodesalination has been used first as a technology to reduce soil salinity and then as a method to reduce salinity of saline water and wastewater. Although phytodesalination of saline water as an emerging and environmentally friendly technology has raised hopes for desalination with a view to sustainable water supply but it undoubtedly has limitations that may overshadow its use as a practical method. It seems that conducting a SWOT analysis with the aim of identifying the strengths, weaknesses, opportunities and threats related to this method and formulating related strategies to chart a brighter future for this technology, can be useful. One of the shortcomings of SWOT analysis is its qualitative aspect, so that in this method only a number of factors in the groups of strengths, weaknesses, opportunities and threats are determined without mentioning the relative importance of these factors and groups. In order to address this shortcoming, some researchers have used Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods to determine the relative importance of SWOT factors and groups.

### Methodology

In this paper, after identifying strengths, weaknesses, opportunities and threats of phytodesalination by constructed wetland containing halophytic plants, using expert opinions through Fuzzy AHP method (Buckley analysis), local and general priorities of the factors of each of the four SWOT groups have been calculated and the factors with higher priorities and as a result the types of strategies that should be adopted have been identified.

### Conclusion

The results show that in the group of strengths (S), factor S<sub>1</sub>, "environmental compatibility" had the highest priority (p = 0.47), after that, factors S<sub>4</sub>, "acceptable treatment efficiency" (p = 0.2), S<sub>3</sub>, "cost-effectiveness compared to other methods" (p = 0.18), S<sub>5</sub>, "the possibility of linking with bioenergy production methods" (p = 0.09) and S<sub>2</sub>, "by-products if useful plants are used" (p = 0.07) are ranked second to fifth, respectively. In the group of weaknesses (W), factor W<sub>1</sub>, "dependence on evapotranspiration" had the highest priority (p = 0.47), after that, factors W<sub>2</sub>, "complexity in plant-based systems and their management problems" (p = 0.19), W<sub>5</sub>, "slow process and long time for growth" (p = 0.18), W<sub>4</sub>, "the problem of biomass disposal and the possibility of salt return due to it" (p = 0.11) and W<sub>3</sub>, "the inability of most halophytes to be used as useful crops" (p = 0.06) are ranked second to fifth, respectively. In the group of opportunities (O), factor O<sub>3</sub>, "reduction of water resources and the need to the use of unconventional resources" had the highest priority (p = 0.29) that followed by factors O<sub>4</sub>, "the existence of huge saline water resources (seas and saline rivers)" (p = 0.28), O<sub>5</sub>, "the possibility of using genetic engineering to modify salinity tolerance characteristics" (p = 0.24), O<sub>1</sub>, "high biodiversity of halophytes" (p = 0.12) and O<sub>2</sub>, "high energy and carbon footprint in other desalination methods" (p = 0.06) as second to fifth ranks, respectively. Finally, in the group of threats (T), factor T<sub>4</sub>, "lack of appropriate financial incentives and non-participation of related economic sectors in salinity research" had the highest priority (p = 0.43) that followed by factors T<sub>1</sub>, "lack of understanding of water crisis and need to the use of unconventional water resources" (p = 0.28), T<sub>5</sub>, "the possibility of extinction of some suitable plant species" (p = 0.12), T<sub>2</sub>, "lack of

research priority by biotechnology and phytoremediation researchers” ( $p = 0.12$ ) and  $T_3$ , “the lack of systematic methods for selecting suitable species” ( $p = 0.06$ ) as second to fifth ranks, respectively. After analyzing the factors of each group, the factor with the highest local priority in a group is selected as the representative of that group to compare the groups and the final results of the comparison of these representatives are considered as the weight of the group. Comparing the groups, it was found that the two groups of weaknesses and opportunities had the highest weight ( $p = 0.353$ ), followed by the group of threats in the second place ( $p = 0.214$ ) and the group of strengths in third place ( $p = 0.08$ ). The final step is to calculate the global priorities of the factors. To do this, the weight of each group was multiplied by the local priority of the following factors. Due to global priorities the first important factor belongs to the group of weaknesses ( $W_1$ ). This factor is the main problem of the phytodesalination method in CWs, i.e. dependence on evapotranspiration. Evaporation from the CW media surface and transpiration from plants along with the upward capillary flow in the CW causes the upper CW surfaces to fill with salt over time. This saline layer will increase the salinity of the incoming water to CW. Therefore, the most important step in the success of this method is to control evapotranspiration and reduce its amount. The second most common factor is  $T_4$  in the threat group. This is due to the lack of appropriate financial incentives and the lack of participation of related economic sectors in salinity research. Therefore, according to experts, after solving the problem of dependence on evapotranspiration, the completion of research in the shadow of financial incentives is one of the most important factors in the success of the salt phytoremediation method in CWs wetlands. The third rank is a positive factor, i.e.  $O_3$  factor from the group of opportunities. This factor, which is reduction of water resources and the need to the use of unconventional resources, is an important opportunity for this method. In fact, this method can play a role as one of the solutions to the water crisis. The fourth place also belongs to an opportunity. This factor is the  $O_4$  factor i.e. the existence of huge sources of salt water (salt seas and rivers). The factor that, as an endless input, ensures the success of this method in terms of input stability. The fifth rank also belongs to a threat. This threat, factor  $T_4$ , is a lack of understanding of the water crisis and the need to turn to unconventional resources. This lack of understanding exists both among the people and among the managers of the water sector. Therefore, it needs to provide the necessary education in this regard to strengthen this understanding. The next five factors are opportunity, weakness, weakness, threat and opportunity types, respectively. In other words, of the first ten factors, three are weakness, three are threats, and four are opportunities. Therefore, it seems that the strategies chosen for this system should be WT and WO.

**Keywords**

Air pollution; Dispersion; Heavy metals; Risk assessment