

شوری‌زدایی خورشیدی در ایران – تحلیل SWOT با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی

محمد قلی‌زاده^۱ ، ابوالفضل فرزی^{۲*} ، سمانه معصومی^۱

۱- گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۲- گروه مهندسی عمران، واحد اسفراین، دانشگاه آزاد اسلامی، اسفراین، ایران

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

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۸/۰۸ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۰۳

چکیده

استفاده از شوری‌زدایی خورشیدی آب به عنوان یک راه حل پایدار برای مشکلات ناشی از کمبود آب مطرح است. با توجه به قابلیت شوری‌زدایی خورشیدی در پوشش دادن بخشی از مسائل مربوط به آب، برنامه‌ریزی راهبردی برای آینده‌ی آن به عنوان یکی از منابع آب نامتعارف، در این مقاله مدنظر قرار گرفته است. به این منظور نقاط قوت، نقاط ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای مربوط به شوری‌زدایی خورشیدی آب در ایران شناسایی و با روشی نظام‌یافته با تلفیق فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) با تحلیل SWOT اولویت‌بندی گردیده‌اند. نتایج حاکی از آن است که عوامل مثبت خارجی (فرصت‌ها) از اهمیت نسبی بالاتری برخوردار هستند و در نتیجه تأثیرگذاری بیشتری بر توسعه این سیستم در ایران خواهند داشت. با این حال با توجه به قرارگیری نقاط ضعف در مرتبه دوم، اتخاذ استراتژی‌هایی از نوع WO، می‌تواند مناسب این سیستم باشد. استراتژی‌هایی که با استفاده از فرصت‌های خارجی سیستم سعی در خنثی کردن اثر نقاط ضعف دارند.

کلمات کلیدی

"شوری‌زدایی خورشیدی"، "برنامه‌ریزی راهبردی"، "تحلیل SWOT"، "تحلیل سلسله مراتبی فازی"

Solar Desalination in Iran – a SWOT analysis using Fuzzy AHP

Mohammad Gholizadeh¹, Abolfazl Farzi^{2,*}, Samaneh Masoomi¹

1. Department of Mechanical Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

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

*Email Address: farzi@iauesf.ac.ir

Abstract

The use of solar desalination is a sustainable solution to the problems of water scarcity. Due to the ability of solar desalination to cover part of water issues, a strategic planning for its future as one of the unconventional water sources is considered in this article. For this purpose, strengths, weaknesses, opportunities and threats (SWOT) related to solar desalination in Iran have been identified and prioritized in a systematic way by combining the Fuzzy Analytic hierarchy process (FAHP) with SWOT analysis. The results indicate that positive external factors (opportunities) are of the highest relative importance and as a result will have a greater impact on the development of this system in Iran. However, given the weaknesses are in the second place, WO type strategies can be appropriate for the future development of this system; Strategies that try to neutralize the effect of weaknesses by using external opportunities of the system.

Keywords

"Solar Desalination", "strategic planning", "keyword", "SWOT analysis", "Fuzzy AHP"

۱- مقدمه

امروزه افزایش تقاضای آب در اثر افزایش جمعیت جهان و نیاز این جمعیت فزاینده به تولید غذا و توسعه کشاورزی، حقیقتی انکارناپذیر است. این حقیقت در کنار کاهش روزافزون منابع آب خام در دسترس، توجه بشر را به استفاده از منابع نامتعارف آب مانند آب های شور معطوف نموده است (Schneider et al., 2011). به دلیل عدم امکان استفاده مستقیم آب های شور برای اکثر استفاده های انسانی، شوری زدایی آب برای استفاده در کشاورزی و سایر نیازها به عنوان یک ضرورت مطرح است. روش های رایج شوری زدایی مانند روش های تقطیری و غشایی، عمدتاً مبتنی بر استفاده از انرژی های فسیلی و مستلزم مصرف انرژی بالا بوده و در نتیجه دارای اثرات زیست محیطی نامطلوب می باشند. بنابراین روی آوردن به تکنولوژی های دوستدار محیط زیست مانند استفاده از انرژی خورشیدی برای شوری زدایی آب، مورد توجه قرار گرفته است (Manju and Sagar, 2017). شوری زدایی خورشیدی به مجموعه ای از روش ها گفته می شود که طی آن ها با استفاده از انرژی خورشیدی، آب شیرین از آب شور تولید می گردد (Shatat et al., 2013). یکی از این مجموعه روش ها، شوری زدایی حرارتی خورشیدی است. شوری زدایی حرارتی خورشیدی، فناوری شوری زدایی خورشیدی با اولین کاربرد عملی است. با توجه به رانش این سیستم توسط انرژی حرارتی تولید شده از انرژی خورشیدی، می توان براساس روش های استفاده از انرژی خورشیدی، آن را به روش های مستقیم یا منفعل و غیرمستقیم یا فعال تقسیم کرد. همانطور که از نام روش مستقیم پیداست، در این سیستم انرژی خورشیدی به طور مستقیم در محفظه تقطیر جذب و برای تقطیر استفاده می شود در حالی که در روش غیرمستقیم، انرژی خورشیدی توسط کلکتور خورشیدی جدا از محفظه تقطیر جذب و استفاده می شود (Zheng, 2017). با وجود معرفی روش های جدیدتر شوری زدایی خورشیدی، شوری زدایی حرارتی خورشیدی نیز به دلیل سادگی فرایند و بهره برداری و نیز با توجه به ضرورت های تامین آب از یک طرف و استفاده از انرژی های تجدیدپذیر، هنوز نیز مورد استفاده و مطالعه توسط محققین بوده و تحقیقات بیشماری در ارتباط با آن انجام می شود. با توجه به این که تولید آب و بازدهی حرارتی آب شیرین کن های حرارتی خورشیدی، تا حدودی پایین است، عمده این تحقیقات از نوع تحقیقات آزمایشگاهی بوده و روش های مختلفی را برای بهبود عملکرد آب شیرین کن های خورشیدی حرارتی مورد مطالعه قرار داده اند (Zheng, 2017). در کنار تحقیقات آزمایشگاهی ناظر بر بهبود عملکرد آب شیرین کن های خورشیدی حرارتی، برخی از تحقیقات نیز به جنبه های اقتصادی استفاده از این آب شیرین کن ها پرداخته اند. برخی مانند Zehtabiyani-Rezaie, et al. (2019) شوری زدایی حرارتی خورشیدی را به عنوان گزینه های تامین آب برای شهرهای بندر جاسک و سیرجان از منظر اقتصادی بررسی نموده اند و برخی دیگر به محاسبه قیمت تمام شده یک لیتر آب برای بهره برداری طول سال از یک نوع آب شیرین کن حرارتی خورشیدی پرداخته اند (El-Sebaei & El-Naggar, 2017) و یا در کنار بررسی های آزمایشگاهی، به مقوله اقتصادی آب شیرین کن مورد مطالعه نیز توجه نموده اند (Rashidi et al., 2018, Panchal et al., 2019). علیرغم برخی مطالعات اقتصادی، به نظر می رسد پرداختن به جنبه های مدیریت و برنامه ریزی آب شیرین کن های حرارتی خورشیدی یکی از جنبه های مغفول در تحقیقات مربوط به آنها است. بنابراین

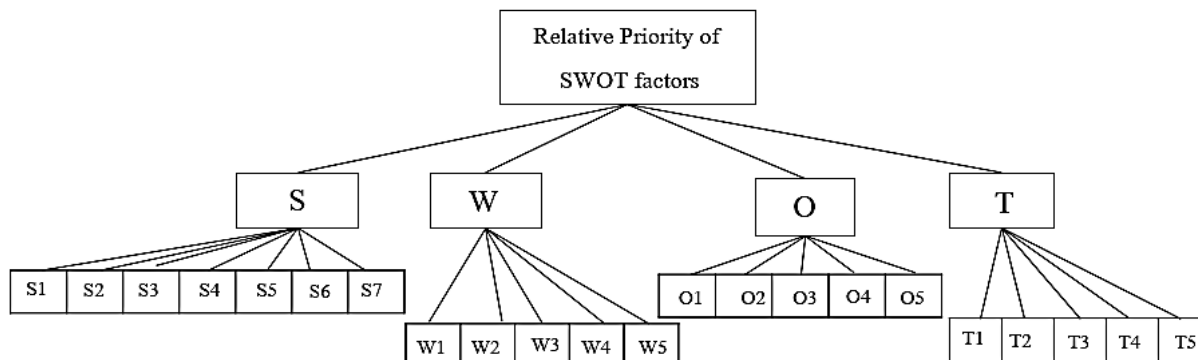
انجام یک تحلیل SWOT با هدف شناسایی نقاط قوت، نقاط ضعف، فرصت ها و تهدیدهای مربوط به این آب شیرین کن ها و تدوین استراتژی های مربوط به آن می تواند به پر کردن این خلا کمک نماید. تحلیل SWOT (نقاط قوت، نقاط ضعف، فرصت ها و تهدیدها)، یک ابزار معمول در برنامه ریزی راهبردی است که با یک رویکرد نظام یافته به آنالیز محیط داخلی و خارجی یک سازمان یا یک سیستم می پردازد و بر مبنای این آنالیز استراتژی های قابل اتخاذ برای آینده، تدوین می گردند (Kurttila et al., 2000). به دلیل ضعف اساسی تحلیل SWOT که جنبه کیفی آن و بیان صرف تعدادی از عوامل در گروه های قوت، ضعف، فرصت و تهدید، بدون بیان اهمیت نسبی آنها است، برخی از محققین روش های تصمیم گیری چندمعیاره را برای تعیین اهمیت نسبی عوامل و گروه های SWOT به کار برده اند. ارائه ی روشی نظام مند برای تعیین اهمیت عوامل SWOT با تلفیق روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در تحلیل SWOT و کاربرد آن در مدیریت جنگلها یکی از اولین کارها در این زمینه بود (Kurttila et al., 2000). این روش تلفیقی، توسط محققان دیگر نیز برای آنالیز مسائل دیگری از قبیل سرمایه گذاری خصوصی در بخش بیوگاز چین (Gottfried et al., 2018)، خودروهای برقی در بنگلادش (Suman et al., 2020)، استقرار انرژی خورشیدی در هند (Sindhu et al., 2017)، و مدیریت ایستگاه های بیوگاز کشاورزی در اتریش (Brudermann et al., 2015) استفاده شده است. علاوه بر تحقیقات فوق الذکر، روش AHP در شکل فازی نیز برای تعیین اولویت نسبی عوامل در تحلیل SWOT توسط برخی از محققین استفاده شده است. به طور کلی استفاده از روش های تصمیم گیری چندمعیاره فازی به دلیل عدم قطعیت و عدم صراحت موجود در عبارت های کلامی مورد استفاده در این روش ها، صورت گرفته است. در این روش ها برخلاف روش های سنتی، عبارت های کلامی به جای جایگزینی با اعداد قطعی با اعداد فازی، جایگزین می شوند تا ماهیت غیرصریح نظرات کارشناسان را بهتر مدل سازی نمایند. برنامه ریزی بخش خودروسازی ترکیه (Karatop et al., 2018)، برنامه ریزی استفاده مجدد در محل آب خاکستری در ایران (Farzi and Mehrabadi, 2019)، انتخاب منابع انرژی تجدیدپذیر برای پاکستان (Wang & Solangi, 2019) برخی از استفاده های اخیر این روش در تحقیقات هستند. در این مقاله، پس از شناسایی نقاط قوت، نقاط ضعف، فرصت ها و تهدیدهای شوری زدایی خورشیدی در ایران، به محاسبه اولویت های محلی و کلی عوامل ذیل هر کدام از گروه های چهارگانه SWOT با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتب فازی پرداخته شده است.

۲- روش انجام تحقیق

به عنوان اولین قدم، تحلیل استاندارد SWOT برای شناسایی نقاط قوت و ضعف (عوامل داخلی) و فرصت ها و تهدیدات (عوامل خارجی) شوری زدایی خورشیدی در ایران انجام شد. برای انجام این کار، مجموعه ای از عوامل برای هر یک از گروه های چهارگانه SWOT توسط نویسندگان فهرست گردید. در این راستا از نقطه نظرات ده نفر از کارشناسان برای اعتبارسنجی عوامل ذیل گروه های SWOT بهره گرفته شد. کارشناسان مورد مصاحبه از بین کارشناسانی که در زمینه شوری زدایی خورشیدی از دانش کافی برخوردار بوده و یا در این زمینه مشغول تحقیق بودند، انتخاب شدند. همان طور که قبلاً ذکر شد، تحلیل SWOT فقط برخی از عوامل کیفی را برای برنامه ریز فراهم می

تعیین اولویت نسبی عوامل ذیل هر گروه (اولویت های محلی) است. بنابراین بر اساس مقیاس ۹ درجه ای ساعتی، پرسشنامه ای برای مقایسه زوجی عوامل SWOT با استفاده از عبارات های کلامی مندرج در جدول ۱ تهیه شد. در این مرحله، هر یک از متخصصان به طور جداگانه ۵۱ مقایسه زوجی انجام دادند (۲۱ مقایسه برای گروه نقاط قوت و ۱۰ مقایسه برای هر یک از گروه های دیگر).

کند و اهمیت نسبی این عوامل را نشان نمی دهد. برای اولویت بندی عوامل و گروه های SWOT از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) استفاده شد. بدین منظور ابتدا ساختار سلسله مراتبی مسئله مطابق آنچه در شکل ۱ نشان داده شده است، تنظیم گردید. همان طور که مشاهده می شود مسئله دارای سه سطح هدف، گروه ها و عوامل است و گروه نقاط قوت دارای ۷ عامل و سایر گروهها هر کدام دارای ۵ عامل هستند. پس از تعیین ساختار سلسله مراتبی مسئله، گام اول،



شکل ۱- ساختار سلسله مراتبی مسئله

جدول ۱- تبدیل عبارات کلامی به اعداد فازی مثلثی

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

مرحله سوم: نرمال کردن مجموع عناصر سطرها پس از محاسبه جمع عناصر سطرها، این مجموع ها باید با یکدیگر جمع و عکس مجموع آنها محاسبه گردد. قابل ذکر است که در محاسبه معکوس یک عدد فازی، کران پایین عدد معکوس، معکوس کران بالا، عدد وسط، معکوس عدد وسط و کران بالا، معکوس کران پایین عدد اصلی هستند. در ادامه باید با ضرب عکس مجموع محاسبه شده فوق در مقادیر مجموع سطرها، آنها را نرمال کرد.

مرحله چهارم: محاسبات درجه امکان پذیری در این مرحله، اعداد نرمال شده مرحله قبل باید دوه دو باهم مقایسه شده و احتمال بزرگ تر بودن هر یک از دیگری با استفاده از رابطه زیر محاسبه شود. نتیجه کار در این مرحله یک ماتریس مربعی از اعداد قطعی خواهد بود که به آن ماتریس امکان پذیری می گویند.

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

آنالیز مقایسه های کارشناسان و تعیین اولویت های محلی عوامل در هر گروه، با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی، انجام شد. روش های متعددی برای فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی پیشنهاد شده است که روش گسترش یافته چانگ بیش از همه روش های دیگر برای محاسبات تحلیل سلسله مراتبی فازی مورد استفاده قرار گرفته است. مراحل آنالیز گسترش یافته چانگ را می توان به صورت ذیل بیان نمود (Chang, 1996):

مرحله اول: تشکیل ماتریس تصمیم (مقایسه زوجی) فازی نظرات کارشناسان، در قالب عبارات کلامی مربوط به مقیاس ۹ درجه ای ساعتی اخذ می شود. عبارات کلامی با اعداد فازی مثلثی مندرج در جدول ۱ جایگزین شده و ماتریس مقایسه زوجی فازی مربوط به هر کارشناس به دست می آید. ماتریس تصمیم کلی با استفاده از میانگین گیری حسابی فازی نظرات کارشناسان، تعیین می گردد. در میانگین گیری از چند عدد فازی مثلثی، کران پایین، کران بالا و عدد میانی عدد میانگین، به ترتیب مینیمم کران های پایین اعداد، ماکزیمم کران های بالای اعداد و میانگین اعداد میانی آن اعداد فازی خواهند بود.

مرحله دوم: محاسبه مجموع عناصر سطرها در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، پس از تشکیل ماتریس تصمیم، مجموع عناصر هر سطر محاسبه می شود. لازم به ذکر است که در جمع اعداد فازی، درایه های آن اعداد نظیر به نظیر با هم جمع می شوند.

در این رابطه، m عدد میانی، l کران پایین و u کران بالای عدد فازی M هستند.

مرحله پنجم: محاسبه اولویت ها

در گام بعد باید در هر سطر ماتریس امکان پذیری، مقدار مینیمم محاسبه شود. سپس باید این مقادیر مینیمم، نرمال شوند. برای نرمال سازی، مجموع آن ها محاسبه شده و تک تک آن ها بر این مجموع تقسیم می شوند. این مقادیر نرمال شده، اولویت های نسبی معیارها و یا گزینه ها خواهند بود. قابل ذکر است که اولویت های به دست آمده غیر فازی می باشند. پس از محاسبه اولویت های نسبی عوامل در هر گروه، عامل با بالاترین اولویت در هر گروه به عنوان نماینده ی آن گروه انتخاب می شود. این عوامل شاخص های چهار گروه SWOT بوده و باید با یکدیگر مقایسه شوند تا اهمیت نسبی گروه ها نیز تعیین گردد. بنابراین یک پرسشنامه جدید برای مقایسه نمایندگان گروه تهیه و برای کارشناسان ارسال شد. آن ها 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 نظرات کارشناسان در قالب یک ماتریس مقایسه زوجی فازی جمع گردید. سپس اولویت نسبی گروه ها با استفاده از روش آنالیز فازی گسترده چانگ محاسبه شد.

در نهایت اولویت کلی هر عامل با ضرب اولویت محلی آن عامل در اولویت گروه مربوطه محاسبه شد. پس از محاسبه اولویت های نسبی عوامل و گروه ها، باید سازگاری مقایسه ها نیز کنترل شود. 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 می شود. یکی از این دو ماتریس، شامل اعداد میانی اعداد فازی ماتریس تصمیم و ماتریس دیگر میانگین هندسی کران های بالا و پایین اعداد فازی ماتریس تصمیم است (Gogus and Boucher, 1997).

۳- نتایج

در ابتدا یک تحلیل SWOT استاندارد برای شناسایی عوامل داخلی و خارجی که بر آینده شیرین سازی آب شور با استفاده از انرژی خورشیدی در ایران تأثیر می گذارد انجام شد. برای این منظور همان طور که در بخش قبل گفته شد، عامل ها در هر گروه توسط نویسندگان شناسایی و با استفاده از نظرات آن ها وزن هر یک از داده ها مشخص شد که در جدول ۲ آورده شده اند.

جدول ۲- عوامل گروه های SWOT برای شوری زدایی خورشیدی آب در ایران

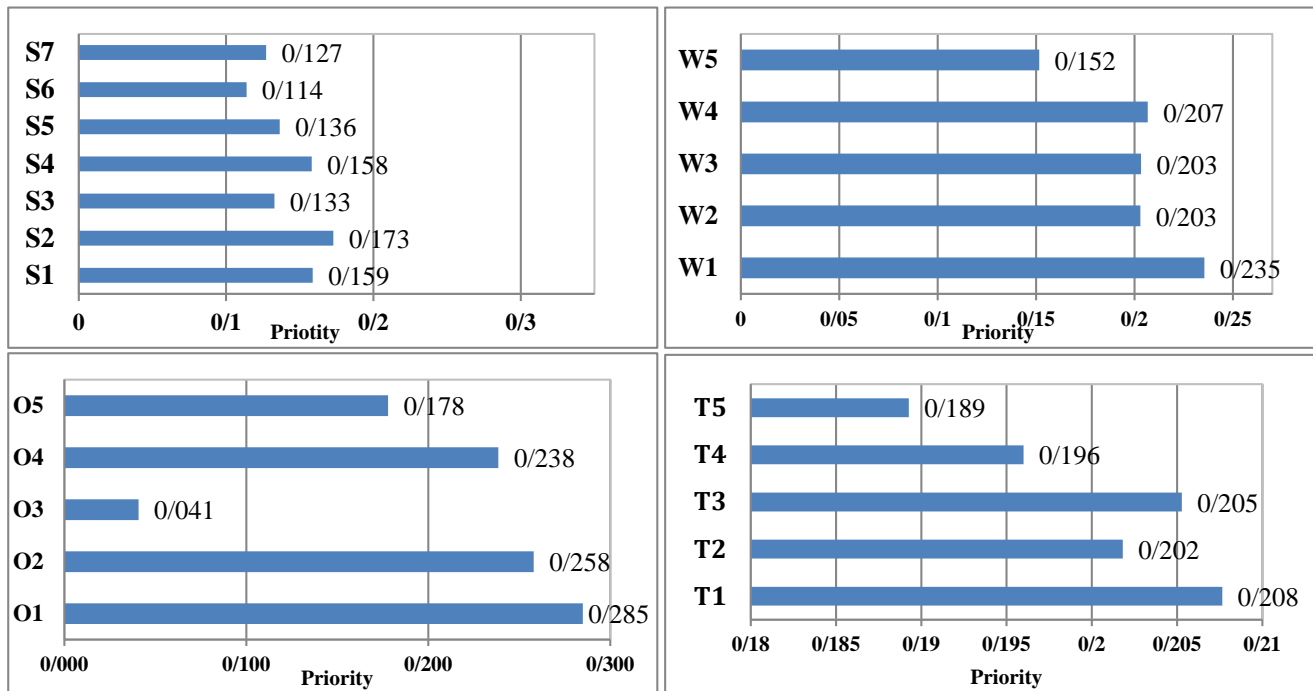
نقاط قوت:	نقاط ضعف:
۱- منبع جایگزین آب در مناطق تحت تأثیر خشکسالی یا پر تقاضای آب ۲- عدم نیاز به انرژی سوخت های فسیلی ۳- عدم وابستگی کیفیت آب خروجی به غلظت آب شور ۴- کاهش فشار بر منابع آب سنتی (حفاظت از زیستگاه ها و جریان های زیست محیطی) ۵- هزینه های نسبتاً پایین تعمیر و نگه داری تجهیزات آب شیرین کن ۶- انعطاف پذیری برای سازگاری با فناوری های جدید و کارآمد ۷- امکان کاربرد در تامین آب مناطق روستایی و عشایر	۱- وابستگی به شرایط آب و هوایی ۲- بازدهی پایین تولید آب ۳- اثرات زیست محیطی دفع آب نمک غلیظ شده ۴- وابستگی به نزدیکی موقعیت منابع آب شور (آب زیرزمینی لب شور، آب رودخانه شور یا آب دریا) ۵- نیاز به فضای کاری زیاد
فرصت ها:	تهدیدها:
۱- فراوانی انرژی خورشیدی با توجه به اقلیم ایران ۲- خط ساحلی طولانی و دسترسی آسان به آب دریا ۳- زیرساخت های تحقیق و توسعه خوب در کشور ۴- افزایش تقاضای آب در نتیجه خشکسالی های مکرر و افزایش جمعیت ۵- وجود مناطق روستایی و عشایری پراکنده در مجاورت مناطق در معرض شوری داخلی	۱- احتمال مقاومت اجتماعی توسط مشاغل وابسته به دریا و فعالان زیست محیطی ۲- عدم وجود مقررات ویژه در مورد شیرین سازی آب های شور ۳- فناوری های رقابتی بالقوه (مانند آب خاکستری، آب باران و آب اتمسفری) ۴- عدم وجود مطالعات جدی در مورد شیرین سازی خورشیدی آب های شور در کشور ۵- آگاهی اجتماعی کم در مورد لزوم شیرین سازی آب شور

نیاز به انرژی سوخت های فسیلی ($p=0.173$) اختصاص داده اند. کاهش وابستگی کشور به سوخت های فسیلی و منابع عظیم نفت و گاز یکی از مزایای مهم استفاده از تکنولوژی انرژی تجدیدپذیر به ویژه انرژی خورشیدی در ایران است. از این رو از نظر کارشناسان، از مهم ترین شاخص هاست. کارشناسان، عامل منبع جایگزین آب در مناطق تحت تأثیر خشکسالی یا پر تقاضای آب ($p=0.159$) را در مرتبه دوم قرار داده اند. چرا که در بیشتر مناطق نیاز به آب در حال افزایش است که دلیل آن استفاده های خانگی، کشاورزی و صنعتی از آب است. با فاصله اندکی، عامل کاهش فشار بر منابع آب سنتی ($p=0.158$) در مرتبه ی بعدی قرار گرفته است. با توجه به اینکه بسیاری از منابع آبی

پس از شناسایی عوامل داخلی و خارجی مربوط شیرین سازی آب شور با استفاده از انرژی خورشیدی، اولویت بندی آن ها با تلفیق روش SWOT با FAHP انجام گردید. در این کار ابتدا عوامل موجود در گروه های چهارگانه قوت ها، ضعف ها، فرصت ها و تهدیدها اولویت بندی می شوند و پس از آن در هر گروه عامل با بالاترین اولویت به عنوان نماینده آن گروه برای اولویت بندی گروه ها استفاده می شود. بنابراین ابتدا مقایسه های زوجی عوامل در هر یک از گروه ها انجام گردید و اولویت های محلی هر عامل محاسبه شد. خلاصه نتایج حاصل از مقایسه های زوجی عوامل ذیل گروه های SWOT در شکل ۲ آورده شده است. در بین نقاط قوت، کارشناسان بالاترین اولویت را به عدم

امکان کاربرد در تامین آب مناطق روستایی و عشایری ($p=0.127$) است. بعضی از مناطق نیز به آب شور دسترسی دارند و درعین حال به شبکه توزیع برق و تصفیه آب دسترسی ندارند. بنابراین توسعه واحدهای نمکزدایی در مقیاس کوچک برای ایران ایده‌ای مناسب است. در جوامع روستایی و مناطق کم آب، واحدهای نمکزدایی در مقیاس کوچک می‌تواند نقش بسیار کلیدی و مهم در بهبود کیفیت زندگی داشته باشد. اما از آنجاییکه در مقیاس کوچک بازدهی پایین می‌باشد، از نظر کارشناسان نسبت به عامل‌های دیگر اهمیت کمتری دارد. آخرین عامل، شامل انعطاف‌پذیری برای سازگاری با فناوری‌های جدید و کارآمد ($p=0.114$) نیز می‌باشد.

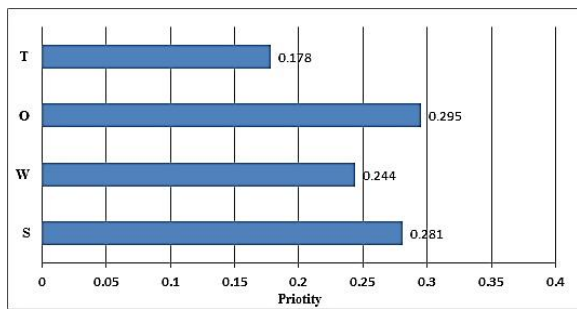
کشور در معرض تنش‌های کمی و کیفی قرار گرفته است و متأسفانه موضوعاتی که مصرف را مدیریت می‌کند و موجب عدم گسترش مشکلات کیفی می‌شود، کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد. از این رو این عامل از نظر کارشناسان حائز اهمیت بوده است. نقاط قوت دیگر اعم از هزینه‌های نسبتاً پایین تعمیر و نگهداری تجهیزات آب‌شیرین‌کن ($p=0.136$) و عدم وابستگی کیفیت آب خروجی به غلظت آب شور ($p=0.133$) در مرتبه‌ی پایین‌تری قرار گرفته‌اند. در فرایندهای غشایی کیفیت آب خروجی وابسته به کیفیت غشاء مورد استفاده نیز می‌باشد، اما در فرایند شیرین‌سازی آب با استفاده از انرژی خورشیدی کیفیت آب خروجی به غلظت آب شور وابسته نمی‌باشد. عامل دیگر،



شکل ۲ - اولویت‌های محلی عوامل SWOT

میزان تابش انرژی خورشیدی در نقاط مختلف جهان متغیر بوده و در کمربند خورشیدی زمین بیشترین مقدار را داراست. کشور ایران نیز در نواحی پرتابش واقع است و مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از تجهیزات خورشیدی در ایران مناسب بوده و می‌تواند بخشی از انرژی مورد نیاز کشور را تامین کند. عامل دیگر خط ساحلی طولانی و دسترسی آسان به آب دریا ($p=0.258$) از نظر کارشناسان در رتبه دوم قرار گرفته است. پس از این عامل، رتبه سوم متعلق به افزایش تقاضای آب در نتیجه خشکسالی‌های مکرر و افزایش جمعیت ($p=0.238$) زیرساخت‌های تحقیق و توسعه خوب در کشور است. عامل‌های دیگر، اعم از وجود مناطق روستایی و عشایری پراکنده در مجاورت مناطق در معرض شوری داخلی ($p=0.178$) در رتبه چهارم قرار می‌گیرد. نیاز به آب با توجه به رشد روزافزون جمعیت، به سرعت در حال افزایش است و منابع آب شیرین موجود، نمی‌توانند همه نیازهای برآورده کند. شرایط خشکسالی به خصوص در سال‌های اخیر در مناطق مختلف ایران به ویژه جنوب کشور منجر به کاهش دسترسی به آب آشامیدنی شده است. در این مناطق اغلب آب شیرین به صورت جاری وجود نداشته و تامین آب از طریق حفر چاه‌های بسیار عمیق امکان پذیر است. این موضوع علاوه بر هزینه‌های گزاف، مشکل غیر

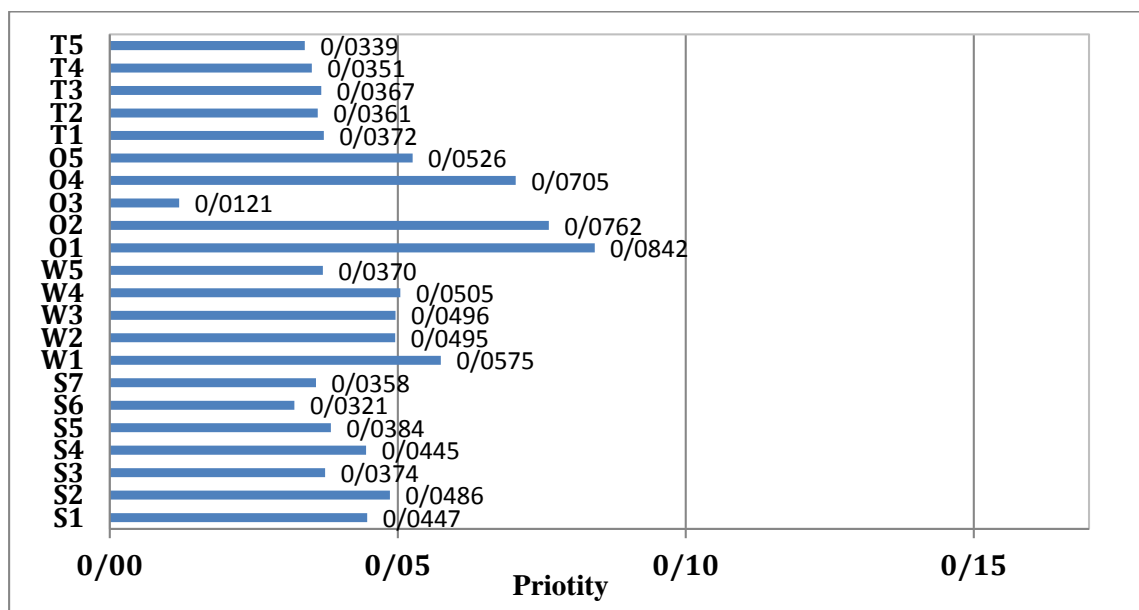
در نقاط ضعف، عامل وابستگی به شرایط آب و هوایی ($p=0.235$) از نظر کارشناسان، بیشترین اهمیت را دارا می‌باشد. آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی عملاً از طلوع تا غروب آفتاب کارایی داشته و حتی روش‌های ذخیره انرژی جهت تولید آب شیرین مانند مواد تغییر فاز دهنده تاثیر کمی در برابر انرژی خورشید دارند. شرایط جوی در هر روز متفاوت است، از این رو عملکرد سیستم ثابت نخواهد بود و ممکن است با خروجی مورد انتظار تفاوت داشته باشد، از این رو حائز اهمیت می‌باشد. یکی دیگر از عوامل وابستگی به نزدیکی موقعیت منابع آب شور ($p=0.207$) در رتبه دوم قرار گرفته است. نقاط ضعف دیگر شامل بازدهی پایین تولید آب ($p=0.203$) اثرات زیست‌محیطی دفع آب نمک غلیظ شده ($p=0.203$) دارای اهمیت یکسان می‌باشند. مهم‌ترین آثار زیست‌محیطی ناشی از این فعالیت‌ها مربوط به تخلیه پساب آن‌ها به محیط می‌باشد. پساب آب‌شیرین‌کن‌ها به علت دو عامل شوری و حرارت، آثار زیست‌محیطی نامطلوبی را بر محیط پیرامون خود ایجاد می‌نمایند. عامل نیاز به فضای کاری زیاد ($p=0.152$) نسبت به عوامل دیگر از اهمیت کمتری برخوردار است. در بین فرصت‌ها، عامل فراوانی تابش خورشیدی با توجه به اقلیم ایران ($p=0.285$) از نظر کارشناسان از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد.



شکل ۳- اولویت‌های نسبی گروه‌های SWOT

کارشناسان شده‌اند، به طوری که ۳ عامل اول لیست و رتبه ۵ مربوط به این گروه بوده است. با این وجود، هر چند عوامل مثبت بیرونی اثرگذاری بیشتری بر سیستم دارند ولی این سیستم دارای نقاط ضعف نیز هست که حائز رتبه‌های ۴ و ۶ تا ۸ نیز می‌باشد. ۵ رتبه‌ی بعد به نقاط قوت اختصاص یافته و بعد از آن‌ها رتبه‌ی ۱۴ و ۱۵ یک ضعف و یک تهدید و رتبه‌های ۱۶ تا ۲۰ نیز تهدیدها هستند. بعد از آن یک قوت و یک فرصت قرار گرفته است. با توجه به این که در مقایسه کلی عوامل SWOT، عوامل مربوط به گروه فرصت‌ها و نقاط ضعف، از اولویت نسبی بالاتری برخوردار بوده‌اند، به نظر می‌رسد در وهله‌ی اول، استراتژی‌های قابل اتخاذ برای این سیستم باید از نوع WO باشند، استراتژی‌هایی که با استفاده از فرصت‌های خارجی سعی در خنثی کردن اثر نقاط ضعف سیستم دارند. افزایش بازدهی و به کار بردن تدابیری برای کم کردن آسیب‌های وارد بر محیط زیست برخی از این استراتژی‌ها می‌تواند باشد. در گام بعد با توجه به اولویت نقاط قوت، استفاده از استراتژی SO قابل اتخاذ خواهد بود. استراتژی‌هایی که با استفاده از نقاط قوت سیستم سعی در بهره‌گیری از فرصت‌های خارجی در جهت توسعه سیستم دارند. استفاده از ظرفیت انرژی خورشیدی و مطالعات انجام شده در زمینه‌ی شیرین‌سازی آب شور و همچنین تجهیز کردن مناطق روستایی و عشایری به آب‌شیرین‌کن برخی از این نوع استراتژی‌هاست.

بهداشتی و شور بودن آب‌های زیرزمینی را نیز دربردارد. زیرساخت‌های تحقیق و توسعه خوب در کشور (p=0.041) از نظر کارشناسان از اهمیت کمتری برخوردار بوده است. در بین تهدیدها، عوامل مقاومت اجتماعی توسط مشاغل وابسته به دریا و فعالان زیست‌محیطی (p=0.208) و فناوری‌های رقابتی بالقوه (p=0.205) و عدم وجود مقررات ویژه و ویژه در مورد شیرین‌سازی آب‌های شور (p=0.202) با اهمیت‌های تقریباً یکسان در رتبه اول قرار می‌گیرند. عامل عدم وجود مطالعات جدی در مورد شیرین‌سازی خورشیدی آب-های شور در کشور (p=0.196) در رتبه بعدی قرار گرفته است. تا کنون تحقیقاتی که به صورت تخصصی و نظام‌مند به انتخاب راهبرد برای این حوزه بپردازند، انگشت‌شمارند. آگاهی اجتماعی کم در مورد لزوم شیرین‌سازی (p=0.189) به عنوان آخرین عامل از دید کارشناسان انتخاب شده است. از شکل ۲ مشخص است که در گروه نقاط قوت عامل S₂ یعنی «عدم نیاز به انرژی سوخت‌های فسیلی» و در گروه ضعف‌ها عامل W₁ یعنی «وابستگی به شرایط آب و هوایی» و در گروه فرصت‌ها عامل O₁ یعنی «فراوانی انرژی خورشیدی با توجه به اقلیم ایران» و در گروه تهدیدها عامل T₁ یعنی «احتمال مقاومت اجتماعی توسط مشاغل وابسته به دریا و فعالان محیط زیست» دارای بالاترین اولویت محلی بوده و بنابراین به عنوان نماینده هر گروه برای انجام مقایسات زوجی توسط کارشناسان استفاده شده اند. از نظر کارشناسان گروه فرصت‌ها بیشترین اهمیت (p=0.295) را دارا می‌باشد و پس از آن به ترتیب نقاط قوت (p=0.28) و نقاط ضعف (p=0.244) و گروه فرصت‌ها (p=0.178) در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند (شکل ۳). به طور خلاصه عوامل مثبت خارجی یعنی فرصت‌ها، از بالاترین اهمیت برخوردار بوده است و پس از آن عوامل مثبت داخلی یعنی نقاط قوت سیستم در رتبه دوم قرار گرفته‌اند. در ادامه، اولویت‌های کلی عوامل SWOT، با ضرب اولویت‌های محلی آن‌ها در وزن گروه مربوطه به دست آمد. این اولویت‌ها در شکل ۴ نشان داده شده‌اند. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، عوامل ذیل گروه فرصت‌ها که حائز بالاترین اولویت‌ها از نظر



شکل ۴- اولویت‌های کلی عوامل SWOT

۴- نتیجه گیری

عواملی چون فراوانی انرژی خورشیدی و خط ساحلی طولانی و زیرساخت های خوب از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. نقاط ضعف در بین گروه ها در مرتبه دوم قرار گرفته اند و شامل عواملی مانند احتمال مقاومت توسط فعالان محیط زیست و عدم وجود مطالعات جدی فناوری های رقابتی و عدم وجود مقررات ویژه می شود، اما وجود نقاط قوت مانند عدم نیاز به انرژی سوخت های فسیلی و منبع جایگزین آب و کاهش فشار بر منابع آب سنتی، می تواند چشم انداز آینده این سیستم را در صورت اتخاذ استراتژی مناسب، روشن نماید.

در این تحقیق عوامل داخلی و خارجی مربوط به استفاده از انرژی خورشیدی در شیرین سازی آب شور شناسایی شد. با استفاده از نظرات کارشناسان و با تلفیق تحلیل SWOT با تحلیل سلسله مراتبی فازی، این عوامل اولویت بندی گردیدند. نتایج حاصل از این تحلیل حاکی از آن است که عوامل مثبت خارجی (فرصت ها) از اهمیت نسبی بالاتری برخوردار بوده و در نتیجه تاثیرگذاری بیشتری بر توسعه این سیستم در ایران خواهند داشت. این اولویت بالاتر بدین معناست که فرصت های خارجی در مسیر توسعه این سیستم در ایران وجود دارد که از آن میان

منابع

- Brudermann, T., C. Mitterhuber, and A. Posch, Agricultural biogas plants—A systematic analysis of strengths, weaknesses, opportunities and threats. *Energy Policy*, 2015. **76**: p. 107-111.
- Chang, D.-Y., Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European journal of operational research*, 1996. **95**(3): p. 649-655.
- Farzi, A. and J. Mehrabadi, 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*, 2019. **15**(4): p. 328-339.
- Gogus, O. and T.O. Boucher, A consistency test for rational weights in multi-criterion decision analysis with fuzzy pairwise comparisons. *Fuzzy sets and Systems*, 1997. **86**(2): p. 129-138.
- 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.
- 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.
- Manju, S. and N. Sagar, 2017 Renewable energy integrated desalination: A sustainable solution to overcome future fresh-water scarcity in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017. **73**: p. 594-609.
- Panchal, H., Taamneh, Y., Sathyamurthy, R., Kabeel, A. E., El-Agouz, S. A., Naveen Kumar, P., ... & Bharathwaaj, R. (2019). Economic and exergy investigation of triangular pyramid solar still integrated to inclined solar still with baffles. *International Journal of Ambient Energy*, 40(6), 571-576.
- Rashidi, S., Rahbar, N., Valipour, M. S., & Esfahani, J. A. (2018). Enhancement of solar still by reticular porous media: experimental investigation with exergy and economic analysis. *Applied Thermal Engineering*, 130, 1341-1348.
- Schneider, U.A., et al., Impacts of population growth, economic development, and technical change on global food production and consumption. *Agricultural Systems*, 2011. **104**(2): p. 204-215.
- El-Sebaili, A. A., & El-Naggar, M. (2017). Year round performance and cost analysis of a finned single basin solar still. *Applied Thermal Engineering*, 110, 787-794.
- Shatat, M., M. Worall, and S. Riffat, Opportunities for solar water desalination worldwide. *Sustainable cities and society*, 2013. **9**: p. 67-80.
- Sindhu, S., V. Nehra, and S. Luthra, Solar energy deployment for sustainable future of India: Hybrid SWOC-AHP analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017. **72**: p. 1138-1151.
- Suman, M. N. H., Chyon, F. A., & Ahmed, M. S. (2020). Business strategy in Bangladesh—Electric vehicle SWOT-AHP analysis: Case study. *International Journal of Engineering Business Management*, 12, 1847979020941487.

- 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.
- Zehtabiyani-Rezaie, N., Alvandifar, N., Saffaravali, F., Makkiabadi, M., Rahmati, N., & Saffar-Avval, M. (2019). A solar-powered solution for water shortage problem in arid and semi-arid regions in coastal countries. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 35, 1-11.
- Zheng, H. (2017). *Solar energy desalination technology*. Elsevier.