



Opportunities and Limitations of Adaptation to Saline Water in Agriculture (Case Study in the Mehowlat-Feyzabad Study Area)

Saeed Taheri^{1✉}  | Alireza Tavousi²  | Seyed-Mahdi Salar-Khorasani³ 

1. Corresponding Author, Graduated M.Sc. in Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. E-mail: sa.taheri1377@alumni.um.ac.ir

2. Graduated M.Sc. in Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran .

3. M.Sc., Department of Irrigation & Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Tehran, Iran. E-mail: mahdi.salar.kh@ut.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
<p>Article type: Original article</p> <p>Article history:</p> <p>Received: May. 14, 2025</p> <p>Revised: Feb. 08, 2026</p> <p>Accepted: Feb. 24, 2026</p> <p>Published online: Mar. 05, 2026</p> <p>Keywords: <i>Saline water, Feyzabad-Mahvelat plain, Aquaculture, Sustainable development.</i></p>	<p>Given the growing challenges posed by population increase, climate change, and the scarcity of freshwater resources, the utilization of saline water has emerged as a sustainable strategy to meet water demands in arid and semi-arid regions such as the Feyzabad–Mahvelat plain. Hydrogeological investigations in this area indicate that the electrical conductivity of groundwater (ranging from 1.3 to 6.4 dS/m) provides favorable conditions for the economic use of saline water in two major domains: (i) salt-tolerant agriculture through the cultivation of adaptive crops, and (ii) aquaculture by farming resistant species. This study is structured in two complementary parts. The first part examines the application of saline water at the farm scale and simultaneously evaluates the potential of agriculture and aquaculture, with the results presented in the form of an integrated “agriculture–aquaculture production matrix,” which contributes to sustainable economic–environmental development in the region. The second part prioritizes strategies for the use of saline water through the Grey Relational Analysis method, with the findings summarized in a ranking table of the most feasible options for advancing agriculture based on saline water utilization. These results provide a scientific foundation for policymaking and planning aimed at enhancing food security and ensuring the sustainability of water resources in similar regions.</p>

Cite this article: Taheri, S., Tavousi, Alireza., Salar-Khorasani, S., (2026) Opportunities and Limitations of Adaptation to Saline Water in Agriculture (Case Study in the Mehowlat-Feyzabad Study Area), *Scientific-Promotional Journal of Aquifer*, 20 (1).



فرصت‌ها و محدودیت‌های سازگاری با آب شور در کشاورزی (کاربرد موردی در محدوده مطالعاتی مه ولات-فیض آباد)

سعید طاهری^۱ | علیرضا طاوسی^۲ | سیدمهدی سالارخراسانی^۳

۱. نویسنده مسئول، دانش‌آموخته مهندسی منابع آب، کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران. رایانامه:

sa.taheri1377@alumni.um.ac.ir

۲. دانش‌آموخته مهندسی منابع آب، کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۳. دانشجو مهندسی منابع آب گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: mahdi.salar.kh@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۴</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۱۹</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۲</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۱۴</p> <p>واژه‌های کلیدی: کاربری اراضی، ArcGIS Pro، ArcGIS Online، استان خوزستان.</p>	<p>با توجه به چالش‌های فزاینده ناشی از رشد جمعیت، تغییرات اقلیمی و محدودیت منابع آب شیرین، بهره‌گیری از آب‌های شور به‌عنوان رویکردی پایدار برای تأمین نیازهای آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نظیر دشت فیض‌آباد-مه‌ولات، اهمیت روزافزونی یافته است. بررسی‌های هیدروژئولوژیکی این منطقه نشان می‌دهد که میزان هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی (در بازه ۱/۳ تا ۶/۴ دسی‌زیمنس بر متر) شرایط استفاده اقتصادی از این منابع را در دو حوزه اصلی فراهم می‌سازد: نخست، در کشاورزی مقاوم به شوری با بهره‌گیری از گیاهان سازگار و دوم، در آبی‌پروری از طریق پرورش گونه‌های مقاوم. این پژوهش در دو بخش مکمل طراحی شده است. بخش نخست به بررسی کاربرد آب شور در سطح مزرعه و ارزیابی هم‌زمان ظرفیت‌های کشاورزی و آبی‌پروری اختصاص دارد که نتایج آن در قالب یک ماتریس تلفیقی «تولیدات کشاورزی-آبی‌پروری» ارائه شده و پیامد آن حرکت به سوی توسعه پایدار اقتصادی-محیطی در منطقه است. در بخش دوم، با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله‌مراتبی خاکستری، راهکارهای بهره‌برداری از آب شور مورد اولویت‌بندی قرار گرفته و نتایج در قالب جدول رتبه‌بندی ارائه گردیده است. این یافته‌ها می‌توانند به‌عنوان مبنایی علمی برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در راستای ارتقای امنیت غذایی و پایداری منابع آب در مناطق مشابه مورد استفاده قرار گیرند.</p>

استناد: طاهری؛ سعید، طاوسی؛ علیرضا، سالارخراسانی؛ سیدمهدی، (۱۴۰۴) فرصت‌ها و محدودیت‌های سازگاری با آب شور در کشاورزی (کاربرد موردی در محدوده مطالعاتی مه ولات-فیض آباد)، نشریه علمی-ترویجی آبخوان، ۲۰ (۱).

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

سازگاری با آب شور در کشاورزی، به‌ویژه در مناطقی که با شوری منابع آب زیرزمینی مواجه هستند، فرصت‌ها و محدودیت‌هایی را به همراه دارد (بهرامی، ۱۳۹۴). از جمله فرصت‌های موجود در سازگاری با آب شور، می‌توان به تنوع‌بخشی به محصولات اشاره کرد. کشاورزان می‌توانند به کشت محصولات مقاوم به شوری یا مدل‌های جایگزین تولید روی آورند، که این تغییر می‌تواند بهره‌وری و درآمد آن‌ها را به‌طور چشم‌گیری افزایش دهد؛ چنان‌که در مناطق ساحلی ویتنام مشاهده شده است (Nguyen et al., 2024). همچنین استفاده از آب شور برای آبیاری و بازیافت آن می‌تواند بدون نیاز به افزایش سطح زیرکشت، تولیدات کشاورزی را افزایش دهد و در نتیجه به امنیت غذایی و منافع اقتصادی کمک کند (Qadir et al., 2015). از سوی دیگر، بهره‌گیری از محیط‌های کنترل‌شده نیز می‌تواند به حفظ بهره‌وری در شرایط شور کمک کرده و امکان کشت محصولات را فراهم کند که در شرایط طبیعی امکان رشد ندارند (Su et al., 2025). در چنین شرایطی، رویکرد سازگاری با آب شور در کشاورزی، هم فرصتی برای بهره‌برداری از منابع غیرمتعارف آبی و هم ضرورتی برای حفظ پایداری فعالیت‌های کشاورزی محسوب می‌شود. به‌کارگیری روش‌هایی مانند آبیاری قطره‌ای، اصلاح خاک با استفاده از پوشش‌های گیاهی، و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین در کاهش تبخیر و تجمع نمک در خاک، از جمله راهکارهایی است که می‌تواند موجب افزایش بهره‌وری آب و بهبود عملکرد گیاهان گردد (Yan et al., 2013; Tishehzan, 2011). با این حال، استفاده از آب شور، مستلزم توجه جدی به محدودیت‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی نیز هست، از جمله نیاز به گونه‌های مقاوم به شوری، هزینه‌های بالای تصفیه، و لزوم جلوگیری از آسیب‌های ساختاری ناشی از خوردگی و رسوب نمک در زیرساخت‌ها (حسینی طفر آبادی، ۱۳۹۹). با توجه به اینکه محدوده مطالعاتی مه‌ولات-فیض‌آباد در همجواری با منابع آب شور قرار دارد و از لحاظ منابع آبی دچار محدودیت شدید است، بررسی دقیق فرصت‌ها و محدودیت‌های بهره‌برداری از آب شور در این منطقه می‌تواند نقش مؤثری در برنامه‌ریزی آبی پایدار و مدیریت منابع کشاورزی ایفا کند.

در ابتدا به معرفی آب شور و همچنین کاربردهای آن در کشاورزی پرداخته می‌شود. آب شور به آبی اطلاق می‌شود که دارای میزان بالایی از مواد محلول معدنی نظیر یون‌های سدیم، کلر، کلسیم، منیزیم و سولفات باشد. معیار اصلی برای سنجش شوری آب، هدایت الکتریکی (Electrical Conductivity - EC) است که بر حسب دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) بیان می‌شود. طبق استانداردهای ارائه‌شده توسط سازمان FAO، آب‌ها به دسته‌های مختلفی بر اساس میزان EC طبقه‌بندی می‌شوند، از جمله: آب تازه ($EC < 0.5$ dS/m) تا آب بسیار شور ($EC > 3$ dS/m). این شاخص، ابزار مناسبی برای ارزیابی قابلیت استفاده از آب برای آبیاری و پرورش گیاهان در شرایط شور به‌شمار می‌آید.

شوری آب آبیاری می‌تواند به کاهش قابلیت جذب آب، افزایش فشار اسمزی، اختلال در فرآیندهای تغذیه‌ای، فتوسنتز و رشد گیاهان منجر شود. گیاهان بسته به نوع، مرحله رشد و بافت خاک، حساسیت متفاوتی نسبت به شوری دارند. به‌طور معمول، آستانه تحمل گیاهان نسبت به EC بین ۱ تا ۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر متغیر است. گیاهان مقاوم مانند جو، سورگوم و پنبه در مقایسه با گیاهان حساس مانند توت‌فرنگی یا لوبیا، توان تحمل شوری بالاتری دارند. همچنین، نوع خاک تأثیر بسزایی در میزان انباشت املاح دارد؛ به‌طوری‌که خاک‌های شنی با نفوذپذیری بیشتر، تجمع نمک کمتری نسبت به خاک‌های رسی نشان می‌دهند. همچنین رابطه بین شوری و کاهش عملکرد گیاه یک رابطه منفی و غیرخطی است که به‌صورت منحنی شوری-عملکرد شناخته می‌شود. این رابطه می‌تواند با استفاده از مدل‌های ریاضی شامل پارامترهایی مانند EC و غلظت یون‌ها مدل‌سازی شود. پژوهش‌های متعددی برای شناسایی آستانه‌های بحرانی شوری برای هر گیاه صورت گرفته‌اند که به کشاورزان و مدیران منابع آب در تصمیم‌گیری کمک می‌کنند.

لازم به ذکر است، آبیاری پرورشی از لحاظ نیاز آبی به دو گروه آب شیرین و آب شور تقسیم می‌شوند. برخی گونه‌های ماهیان مانند تیلاپیا، میگوی وانامی، و برخی صدف‌ها قابلیت پرورش در آب نیمه‌شور یا شور را دارند. استفاده از منابع آب شور در آبی‌پروری می‌تواند یک راهکار سازگارانه برای مناطق با کمبود آب شیرین باشد، به‌ویژه اگر با سیستم‌های تلفیقی کشاورزی و آبی‌پروری (Integrated Aquaculture-Agriculture Systems) ترکیب شود.

در سال‌های اخیر، استفاده از آب‌های شور و لب‌شور در کشاورزی، به‌ویژه در مناطق خشک و کم‌آب کشور، به‌عنوان یکی از راهکارهای مقابله با بحران آب مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. بررسی‌های انجام‌شده در این حوزه نشان می‌دهد که گرچه شوری آب معمولاً تأثیر منفی بر عملکرد محصولات کشاورزی دارد، اما با اتخاذ روش‌های مدیریتی مناسب می‌توان از این منابع آبی به شکل مؤثری

بهره‌برداری کرد. به طور مثال دهقانی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی با عنوان اثر سطوح مختلف شوری بر رشد و عملکرد گندم در شرایط گلخانه‌ای، دریافتند که افزایش EC آب آبیاری به بیش از ۳ دسی‌زیمنس بر متر، کاهش معناداری در وزن خشک، تعداد خوشه و عملکرد دانه ایجاد می‌کند. همچنین کریمی و عسگری (۱۳۹۸) در بررسی امکان‌سنجی استفاده از پساب شور در مناطق کویری خراسان جنوبی، نشان دادند که با انتخاب گیاهان مقاوم، مانند سورگوم و گلرنگ، می‌توان عملکرد قابل‌قبولی به‌دست آورد. و همین‌طور مرادی و فلاح (۱۴۰۰) استفاده از آب شور در سیستم‌های آبی‌پروری تلفیقی را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که ماهی تیلپیا در آب با EC حدود ۵-۷ dS/m عملکرد رشد مطلوبی دارد. در کتاب Rhoades, Managing Saline Water for Irrigation (۱۹۹۲) تأکید کردند که در شرایط کم‌آبی، استفاده از آب شور در حد آستانه تحمل گیاهان، با مدیریت مناسب خاک و آبیاری، قابل توصیه است و یا FAO (۲۰۱۱) در راهنمای خود برای استفاده مجدد از آب‌های شور و فاضلاب، مجموعه‌ای از توصیه‌های عملی برای کشاورزان و تصمیم‌گیران ارائه می‌دهد که شامل انتخاب گونه‌های مقاوم، اصلاح خاک، و برنامه‌ریزی چرخه آبیاری می‌شود.

در پژوهش Das & Das (۲۰۲۱)، با مدل‌سازی ریاضی جریان آب شور از مزارع میگو به اراضی کشاورزی، تأثیر شوری خاک بر کاهش عملکرد محصول و پایداری منطقه بررسی شده و مشخص شد که افزایش عرض دیوار حائل می‌تواند شوری را کاهش دهد. Li and Kang (۲۰۲۰) نیز بر اهمیت مدیریت دقیق حجم و زمان آبیاری برای کنترل شوری و بهینه‌سازی عملکرد در خاک‌های شور تأکید دارند. Xiaoyong و همکاران (۲۰۱۹) یک سیستم ترکیبی آبیاری-آبی‌پروری معرفی کرده‌اند که با استفاده از مراحل مختلف تصفیه، بهره‌وری را افزایش می‌دهد. مدل‌های HST3D (Mason & Kipp, 1998) و SUTRA (Mehta & Fryar, 2000) نیز برای شبیه‌سازی جریان آب و شوری در آبخوان‌ها استفاده شده‌اند. در حوزه آبی‌پروری شور، روش‌هایی مانند پرورش تلفیقی (IMTA)، فناوری بیوفلاک (BFT) و بهره‌برداری از اراضی شور-قلیایی با هدف استفاده بهینه از مواد مغذی و کاهش اثرات زیست‌محیطی پیشنهاد شده‌اند (Lothmann & Sewilam, 2022; Voltmer, 2023). بررسی پژوهش‌های گذشته نشان داد، استفاده از آب شور در کشاورزی و آبی‌پروری، ضمن دارا بودن محدودیت‌هایی مانند کاهش عملکرد و اختلالات فیزیولوژیکی در گیاهان، فرصتی ارزشمند در مناطق خشک و با منابع محدود آب شیرین به‌شمار می‌آید. بهره‌گیری از مطالعات پیشین، انتخاب گونه‌های مقاوم، مدیریت هوشمند خاک و آب، و پیاده‌سازی سیستم‌های تولید تلفیقی از راهبردهای کلیدی در سازگاری با شرایط شور هستند. در منطقه مه‌ولات-فیض‌آباد نیز که با محدودیت منابع آبی روبرو است، بهره‌گیری از تجربیات ذکر شده و بومی‌سازی آن‌ها می‌تواند به توسعه پایدار کشاورزی و سازگاری با شرایط شوری کمک کند. این راهکارها ضمن کاهش وابستگی به منابع آب شیرین، می‌توانند زمینه‌ساز افزایش تاب‌آوری سیستم‌های کشاورزی در برابر کم‌آبی و تغییر اقلیم باشند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی دشت مه‌ولات (با کد ۴۷۲۲ و وسعت ۲۱۴۵ کیلومتر مربع) تقریباً در مرکز حوضه آبریز کویر نمک و در جنوب‌غربی شهرستان تربت‌حیدریه در شمال رودخانه کال شور واقع شده است. از نظر موقعیت جغرافیایی نیز در محدوده ۵۷-۵۸ تا ۵۹-۰۳ طول شرقی و ۳۴-۴۸ تا ۳۵-۱۱ عرض شمالی و همچنین ۶۹۰-۶۰۵ هزارمتر و ۳۸۸۸-۳۸۴۸ هزارمتر (برحسب UTM) واقع شده است. از وسعت کل محدوده مطالعاتی، ۱۷۸۱ کیلومترمربع آن، دشت و مابقی را ارتفاعات و تپه ماهورهای پست منطقه تشکیل می‌دهد. دستیابی به دشت فیض‌آباد از طریق جاده اصلی تربت حیدریه-فیض‌آباد میسر است. موقعیت حوضه آبریز مه‌ولات نسبت به حوضه‌های آبریز استان خراسان رضوی در شکل (۱) ارائه شده است. منابع آب زیرزمینی دشت فیض‌آباد شامل آب‌های نهفته‌شده در خلل و فرج رسوبات آبرفتی Q^{12} است که آبخوان غنی منطقه را تشکیل داده است. آبخوان دشت عمدتاً از طریق مخروط افکنه‌ها و سیلاب مسیل‌های ورودی از دشت ازغند از قبیل زرمهر، شادمهر تغذیه می‌گردد. استحصال آب زیرزمینی دشت، عمدتاً از طریق چاه‌های بهره‌برداری عمیق صورت می‌گیرد.

بهره‌برداری توسط چاه از سال ۱۳۳۵ با حفر اولین چاه شروع گردید. در دهه ۱۳۴۰ و ۱۳۵۰ تعداد افزایش یافته است. بیشترین تعداد چاه محفوره در سال ۱۳۵۸ برابر ۲۹ حلقه بوده است. بر مبنای آمار برداری سال ۱۳۸۲، تخلیه سالانه دشت از طریق ۳۱۷ حلقه چاه بهره‌برداری (۲۹۱ حلقه چاه عمیق و ۲۶ حلقه چاه کم عمیق) و ۱۰ رشته قنات حدود ۱۷۰/۸۷۶ میلیون متر مکعب می‌باشد. تخلیه از طریق ۲۹۱ حلقه چاه عمیق و ۲۶ حلقه کم عمق نیز به ترتیب حدود ۱۶۸/۱ و ۰/۱۴۸ میلیون مترمکعب محاسبه شده است. این آمار در سال ۱۴۰۱ تخلیه آب از طریق ۳۷۶ حلقه چاه برابر ۹۵/۵ میلیون مترمکعب در سال گزارش شده است. منابع آب زیرزمینی حوضه آبریز مه‌ولات-فیض‌آباد

در جدول (۱) ارائه شده است.

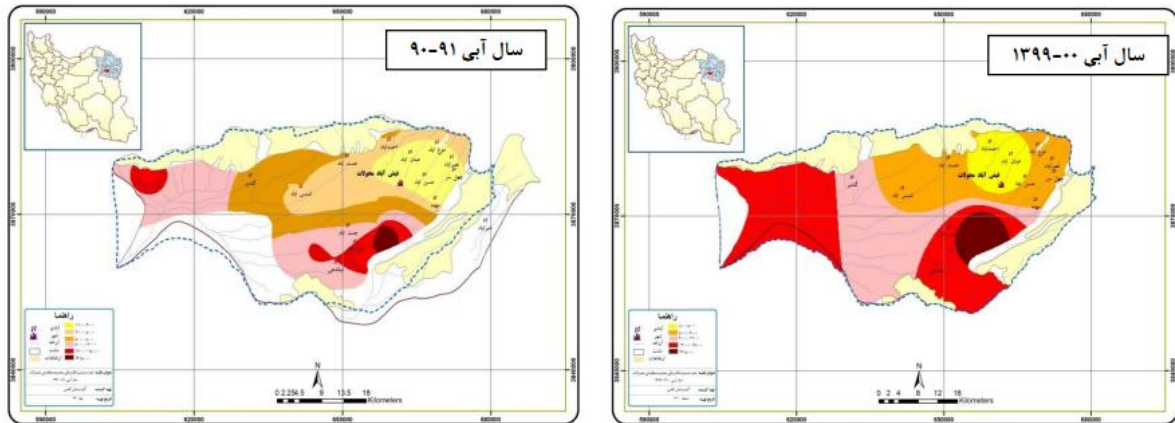


شکل ۱: موقعیت حوضه آبریز مه ولات نسبت به حوضه های آبریز استان خراسان رضوی

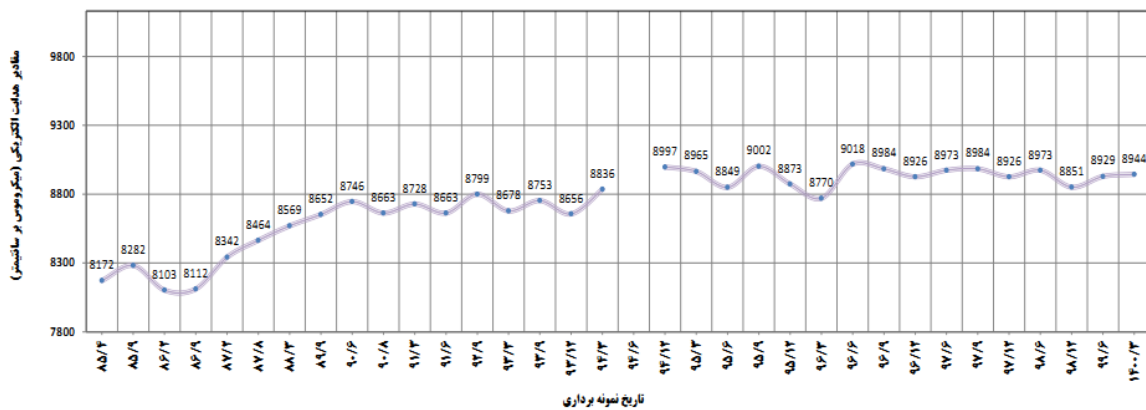
جدول ۱: آمار منابع آب زیرزمینی طی دوره آماربرداری انجام شده (میلیون متر مکعب)

منابع آب	چاه	قنات		چشمه		مجموع تخلیه سالانه
		تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	
سال	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	تعداد	سال
۱۳۵۳	۶۵	۵۶	۱۰	۲/۴۳	۱	۵۸/۴۶۲
۱۳۵۵	۱۴۱	۱۳۱	۱۰	۲/۴۳	۱	۱۳۳/۴۶۲
۱۳۵۹	۱۵۷	۱۴۱	۱۰	۲/۴۳	۱	۱۴۳/۴۶۲
۱۳۶۵	۲۸۲	۲۳۲	۱۰	۲/۴۳	۱	۲۳۴/۴۶۲
۱۳۶۸	۲۹۹	۲۶۹	۱۰	۲/۴۳	۱	۲۷۱/۴۶۲
۱۳۷۲	۳۳۷	۲۷۸	۱۰	۲/۴۳	۱	۲۸۰/۴۶۲
۱۳۷۸	۳۳۸	۲۹۷	۲۹	۱۱/۹۹	۳	۳۰۹/۰۸۷
۱۳۸۱	۳۳۸	۲۹۸/۶	۲۹	۱۱/۹۹	۳	۳۱۰/۶۸۷
۱۳۹۶	۲۸۳	۱۲۲/۳	۹	۰/۶	۰	۱۲۲/۸
۱۳۹۷	۲۸۳	۱۱۹/۳	۹	۰/۶	۰	۱۲۰/۰
۱۳۹۸	۳۶۲	۱۱۹/۰	۹	۰/۸	۰	۱۱۹/۷
۱۳۹۹	۳۸۰	۹۴/۲	۹	۰/۸	۰	۹۴/۹
۱۴۰۰	۳۸۰	۹۱/۷	۱۰	۰/۶	۰	۹۲/۳
۱۴۰۱	۳۷۶	۹۵/۵	۱۰	۰/۶	۰	۹۶/۱

در شکل (۲) نیز تغییرات کیفیت آب در سال ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۹-۱۴۰۰ مشاهده می‌شود. بررسی تغییرات شوری نشان می‌دهد کیفیت آب در طی ده سال بیش از ۳۰ درصد آبخوان دشت را تحت‌تاثیر قرار داده است و شوری از ۷۰۰۰ به متوسط ۱۲۵۰۰ دسی‌زیمنس افزایش داشته است. این موضوع را می‌توان در شکل (۳) در قالب تغییرات هدایت الکتریکی در آبخوان مه‌ولات از سال ۱۳۸۵ تا سال منتهی به



شکل ۲: تغییرات شوری دشت مهولات منتهی به سال ۱۴۰۰



شکل ۳: تغییرات هدایت الکتریکی در آبخوان مهولات ۸۵ تا ۱۴۰۰

روش انجام پژوهش

بخش اول: کاربرد آب شور در سطح مزرعه:

در این بخش، تمرکز پژوهش بر بررسی امکان‌پذیری استفاده از آب شور در فعالیت‌های کشاورزی در سطح مزرعه است. به طور خاص، به بررسی تأثیر آب شور بر رشد گیاهان، بهره‌وری محصولات، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، و روش‌های مدیریتی مناسب برای کاهش اثرات منفی شوری پرداخته می‌شود. این بخش شامل بررسی منابع آب شور موجود، تحلیل نوع و میزان شوری و انتخاب گونه‌های مقاوم به شوری از میان ماهیان می‌باشد. هدف از این بخش، ارائه راهکارهای عملی و علمی برای استفاده پایدار از آب شور در شرایط مزرعه است.

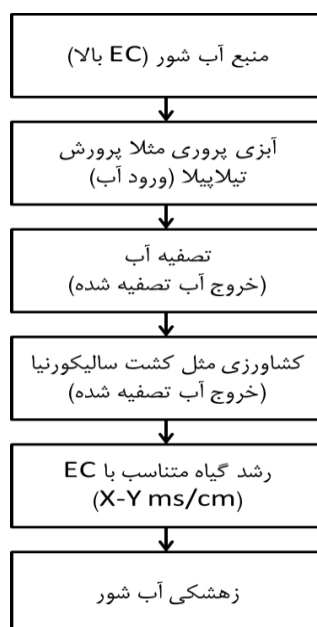
بخش دوم: اولویت‌بندی راهکارهای استفاده از آب شور با روش تحلیل خاکستری:

در این بخش، با استفاده از روش تحلیل خاکستری (Grey Relational Analysis)، راهکارهای مختلف استفاده از آب شور از نظر فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی اولویت‌بندی می‌شوند. این روش که یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است، به پژوهشگر اجازه می‌دهد تا در شرایط عدم قطعیت و کمبود داده‌های دقیق، به ارزیابی راهکارهای مختلف بپردازد. معیارهایی مانند صرفه‌جویی در مصرف آب، هزینه اجرای راهکار، اثر بر سلامت خاک و گیاه، مقبولیت اجتماعی، و قابلیت اجرایی در اولویت‌بندی دخیل هستند. خروجی این بخش، شناسایی راهکارهای برتر و قابل‌اجرا برای توسعه کشاورزی پایدار با استفاده از آب شور است.

در بخش اول یعنی کاربرد آب شور در سطح مزرعه و آبی‌پروری فرآیند پژوهش با انتخاب منبع آب شور آغاز می‌شود. در این مرحله، منابعی با EC بالا مانند آب‌های زهکشی، فاضلاب‌های تصفیه‌نشده یا منابع زیرزمینی شور شناسایی شده و نمونه‌برداری‌هایی جهت اندازه‌گیری پارامترهای کیفی آب از جمله EC، pH، دما، BOD، COD، آمونیاک و فلزات سنگین انجام می‌شود.

در مرحله دوم، آب شور شناسایی شده در واحدهای آبی‌پروری مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش، گونه مقاوم به شوری انتخاب می‌شوند. در این مرحله، ضمن بررسی عملکرد زیستی گونه پرورشی، کیفیت آب خروجی نیز مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. آب خروجی از واحد آبی‌پروری که دستخوش تصفیه بیولوژیکی اولیه شده است، وارد مرحله بعدی یعنی تصفیه ساده می‌شود. در این مرحله، برای بهبود کیفیت آب، روش‌هایی مانند ته‌نشینی، فیلتراسیون شنی یا استفاده از بیوفیلتر به کار گرفته می‌شود. در گام بعد، آب تصفیه شده به منظور آبیاری در کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. گونه‌هایی از گیاهان مقاوم به شوری مانند سالیکورنیا یا جو شورپسند انتخاب شده و در قالب سامانه‌های مزرعه‌ای یا هیدروپونیک کشت می‌شوند. عملکرد و رشد گیاهان با توجه به شوری باقیمانده آب مورد ارزیابی قرار گرفته و محدوده مطلوب EC برای رشد مناسب آن‌ها (به صورت X-Y ms/cm) تعیین می‌شود.

در نهایت، زهکش نهایی ناشی از مصرف آب در کشاورزی جمع‌آوری شده و گزینه‌های مدیریت آن شامل بازیافت مجدد یا دفع ایمن مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین اثرات زیست‌محیطی این زهکش‌ها بر خاک و منابع آب زیرزمینی تحلیل می‌شود. در نهایت، یافته‌های پژوهش می‌تواند به ارائه یک الگوی تلفیقی و پایدار جهت بهره‌برداری از منابع آب شور در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمک کند. مدل مفهومی پژوهش در شکل (۴) ارائه شده است.



شکل ۴: مدل مفهومی پرورش ماهی با استفاده از منابع آب کشاورزی

در بخش دوم از روش تحلیل خاکستری برای اولویت‌بندی راهکارهای کاربرد آب شور در سطح کلان استفاده شده است. در روش تحلیل خاکستری گزینه‌های کاربرد آب شور در قالب یک مسأله تصمیم‌گیری چند شاخصه که دارای m گزینه و n شاخص در نظر گرفته شده، i امین گزینه را می‌توان به صورت $Y_i = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ij}, \dots, y_{in})$ بیان نمود، به طوری که عبارت y_{ij} است از ارزش عملکردی شاخص j برای گزینه i . عبارت Y_i را می‌توان به کمک یکی از روابط (۱)، (۲) و (۳) به سری مقایسه‌ای $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{in})$ تبدیل نمود.

$$x_{ij} = \frac{y_{ij} - \text{Min}\{y_{ij}, i=1,2,\dots,m\}}{\text{Max}\{y_{ij}, i=1,2,\dots,m\} - \text{Min}\{y_{ij}, i=1,2,\dots,m\}} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_{ij} = \frac{\text{Max}\{y_{ij}, i=1,2,\dots,m\} - y_{ij}}{\text{Max}\{y_{ij}, i=1,2,\dots,m\} - \text{Min}\{y_{ij}, i=1,2,\dots,m\}} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_{ij} = \frac{|y_{ij} - y_j^*|}{\text{Max}\{\text{Max}\{y_{ij}, i=1,2,\dots,m\} - y_j^*, y_j^* - \text{Min}\{y_{ij}, i=1,2,\dots,m\}\}} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n$$

رابطه (۱) برای شاخص هرچه بزرگ‌تر، بهتر، رابطه (۲) برای شاخص هرچه کوچک‌تر، بهتر و رابطه (۳) برای حالتی که هر چه به ارزش مطلوب y_j^* نزدیک‌تر باشد بهتر است، مورد استفاده قرار می‌گیرند. تعریف سری‌های هدف مرجع: پس از ایجاد روابط خاکستری با استفاده از معادلات (۱)، (۲) و یا (۳) تمامی ارزش‌های عملکردی در مقیاس [۰ و ۱] قرار می‌گیرند. اگر برای یک شاخص z در گزینه i ، ارزش x_{ij} که از فرایند ایجاد رابطه خاکستری ایجاد شده، برابر با یک بوده یا از ارزش مربوط به هر گزینه دیگری به یک نزدیکتر باشد، بدین معناست که عملکرد گزینه i در شاخص z از سایر گزینه‌ها بهتر است. بنابراین، اگر برای گزینه‌ای تمامی ارزش‌های عملکردی، یک باشد، این گزینه، بهترین انتخاب خواهد بود. این مقاله، سری مرجع هدف را به صورت $X_0 = (x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0j}, \dots, x_{0n}) = (1, 1, \dots, 1, \dots, 1)$ تعریف می‌کند و آنگاه به جستجوی گزینه‌ای می‌پردازد که سری‌های مقایسه‌ای‌اش، نزدیک‌تر به این سری هدف باشند.

محاسبه ضریب رابطه‌ای خاکستری^۲: ضریب رابطه‌ای خاکستری برای تعیین نزدیکی x_{ij} به x_{0j} مورد استفاده قرار می‌گیرد. هرچه ضریب رابطه‌ای خاکستری، بزرگ‌تر باشد x_{ij} به x_{0j} نزدیک‌تر است. ضریب رابطه‌ای خاکستری را با استفاده از رابطه (۴) می‌توان محاسبه نمود:

$$\gamma(x_{0j}, x_{ij}) = \frac{\Delta \text{Min} + \zeta \Delta \text{Max}}{\Delta_{ij} + \zeta \Delta \text{Max}} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه ۴}$$

در رابطه (۴)، $\gamma(x_{0j}, x_{ij})$ ضریب رابطه‌ای خاکستری میان x_{ij} و x_{0j} را نشان می‌دهد که در آن:

$$\Delta_{ij} = x_{0j} - x_{ij}$$

$$\Delta \text{Min} = \text{Min}\{\Delta_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\}$$

$$\Delta \text{Max} = \text{Max}\{\Delta_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\}$$

$\zeta \in [0, 1]$ برابر با ضریب تشخیص می‌باشد. هدف از به کارگیری ضریب تشخیص، گسترش یا محدود ساختن دامنه ضریب رابطه خاکستری است.

محاسبه رتبه رابطه‌ای خاکستری^۳: پس از محاسبه تمامی ضرایب رابطه‌ای خاکستری $\gamma(x_{0j}, x_{ij})$ ، رتبه رابطه‌ای خاکستری را با استفاده از رابطه (۵) می‌توان محاسبه نمود:

$$\Gamma(x_0, x_i) = \sum_{j=1}^n w_j \gamma(x_{0j}, x_{ij}) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \text{رابطه ۵}$$

رابطه (۵)، رتبه رابطه‌ای خاکستری را بین x_i و x_0 نشان می‌دهد. در واقع، این عبارت، میزان همبستگی سری مرجع هدف و سری مقایسه‌ای را نشان می‌دهد. w_j ، وزن شاخص z است که معمولاً به قضاوت تصمیم‌گیرنده یا به ساختار مساله پیشنهادی بستگی دارد. به علاوه، $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ همان‌طور که پیشتر ذکر شد، بر روی هر شاخص، سری مرجع هدف، نشان‌دهنده بهترین عملکردی است که در میان سری‌های مقایسه‌ای قابل حصول است. بنابراین، اگر یک سری مقایسه‌ای برای یک گزینه، بالاترین رتبه رابطه‌ای خاکستری را با سری مرجع هدف داشته باشد، بدین معناست که این سری مقایسه‌ای، دارای بیشترین شباهت با سری مرجع هدف است و لذا این گزینه، بهترین انتخاب است.

جهت اولویت‌بندی استفاده از منابع آب شور در دشت مه‌ولات از روش تئوری خاکستری استفاده شده است. از میان هفت محور در نظر گرفته شده به ترتیب محورهای پذیرش اجتماعی، فنی - اقتصادی، زیست‌محیطی، سازگاری با کم‌آبی، کمیت، کیفیت و پایداری هستند. پس از این مرحله اقدام به ایجاد ماتریس تصمیم شده که اعداد آن به شرح جدول (۱) نمایش داده شده است. راهکارهای پیشنهادی نیز به عنوان گزینه در سطرهای ماتریس در نظر گرفته شده‌اند. به این ترتیب ماتریسی تصمیم به صورت جدول (۱) تشکیل می‌گردد. با توجه به

اینکه واحدهای راهکارها با یکدیگر متفاوت هستند در نتیجه کلیه ارزش‌های استفاده از منابع آب شور برای محدوده مطالعاتی مهولات به یک ارزش بی‌بعد، در فرآیندی مشابه نرمالیزه کردن انجام و متناسب با روابط (۱) تا (۳) اولویت‌بندی انجام شده است.

جدول ۲: آمار منابع آب زیرزمینی طی دوره آماربرداری انجام شده (میلیون متر مکعب)

ردیف	شاخص	پذیرش اجتماعی	فنی-اقتصادی	زیست محیطی	سازگاری	کمیت	کیفیت	پایداری
۱	بهبود یا احداث سیستم اسمز	۲	۲	۵	۲	۵	۵	۴
۲	تقویت سیستم های پایش کیفی منابع آب	۲	۲	۴	۲	۲	۴	۲
۳	اعمال سیاست‌های تشویقی به واردات آب مجازی به حوضه آبریز	۱	۱	۳	۲	۵	۳	۵
۴	جلوگیری از توسعه صنایع آب طلب	۱	۲	۲	۲	۴	۴	۳
۵	تقویت سیستم‌های نظارت و مقابله با جرایم آبی	۱	۱	۲	۳	۳	۳	۳
۶	اجرای راهکارهای سازگاری با کم آبی در سطح حوضه	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۳
۷	توسعه فرهنگ و فناوری بازچرخانی و استفاده چندباره آب بصورت درون بخشی در صنعت	۲	۲	۴	۲	۴	۴	۴
۸	اجرای طرح اختلاط آب شور و شیرین	۵	۴	۴	۴	۲	۴	۳
۹	بازنگری قوانین و مقررات بازدارنده (جرایم) جهت کنترل میزان مصرف بر اساس کاربری های مختلف	۲	۴	۴	۳	۴	۳	۴
۱۰	راه اندازی بازار آب برای خرید و فروش آب و پساب با تدوین مقررات مناسب	۳	۳	۴	۳	۴	۴	۵
۱۱	انتقال آب از حوضه مجاور	۱	۱	۲	۳	۲	۲	۳
۱۲	تشویق و حمایت از پژوهشگران جهت تحقیق و پژوهش کاربردی در زمینه آب و فاضلاب	۳	۴	۴	۴	۲	۲	۳
۱۳	مدیریت فلزات سنگین در سطح حوضه آبریز	۱	۱	۳	۲	۱	۴	۲
۱۴	احداث تصفیه خانه	۲	۳	۴	۴	۱	۴	۳
۱۵	انتشار شفاف اطلاعات منابع و مصارف آب برای عموم	۲	۴	۴	۲	۳	۳	۳
۱۶	توسعه و تکمیل نصب کنتورهای هوشمند بر روی تمامی چاه‌های مجاز	۳	۳	۳	۳	۴	۴	۴
۱۷	وضع ضوابط تشویقی به واحدهای صنعتی جهت تولید پساب با کیفیت استاندارد	۳	۴	۵	۴	۲	۵	۳
۱۸	احداث صنایع با تمرکز بر آب شور	۴	۳	۴	۳	۵	۳	۵
۱۹	تشویق صنایع تولیدکننده محصولات کاهنده مصرف آب	۳	۳	۴	۴	۴	۲	۴
۲۰	مدیریت و پایش مواد شیمیایی در صنعت و نحوه دفع آنها به منابع آب (کنترل و مدیریت در مبدا)	۲	۲	۳	۲	۲	۴	۳
۲۱	توسعه فرهنگ و فناوری بازچرخانی و استفاده چندباره آب بصورت درون بخشی	۳	۲	۳	۲	۴	۲	۳
۲۲	توسعه و جایگزینی سیستم های آبیاری سنتی مبتنی بر آب شور	۴	۴	۴	۵	۳	۲	۳
۲۳	اجرای الگوی کشت بهینه با محوریت سازگاری با کم آبی	۱	۱	۲	۳	۴	۴	۴
۲۴	احداث آب شیرین کن	۳	۳	۴	۳	۳	۴	۴
۲۵	استفاده از سیستم‌های آنلاین پایش کمی و کیفی ورودی و خروجی جهت آلوده کنندگان خاص و انتقال داده به مراجع نظارتی	۱	۲	۳	۲	۴	۴	۵
۲۶	اخذ جریمه از توسعه فعالیت های آب طلب در حوضه	۱	۳	۳	۳	۴	۲	۴
۲۷	اجرای عملیات استفاده منابع آب نامتعارف	۳	۲	۳	۲	۲	۳	۲

ردیف	شاخص	پذیرش اجتماعی	فنی-اقتصادی	زیست محیطی	سازگاری	کمیت	کیفیت	پایداری
۲۸	وضع ضوابط تشویقی به مصرف کنندگان دارای فناوری های صرفه جویی آب	۴	۴	۴	۲	۴	۳	۵
۲۹	جهت معیارها	بزرگتر بهتر						
۳۰	وزن معیار	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
۳۰	مجموع	۱۵۹	۱۶۶	۱۸۴	۱۷۲	۱۷۷	۱۸۱	۱۸۹
		۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

نتایج

با توجه به تراز آب زیرزمینی حداقل تراز سطح آب زیرزمینی در دشت مهولات ۷۷۰ متر حدودا در مرکز دشت (پیژومتر راه چین چین) و حداکثر آن ۸۵۰ متر در جنوب شرق دشت (پیژومتر جاده گناباد) می باشد. در دشت فوق جهت جریان آب زیرزمینی از غرب، جنوب و شرق به سمت مرکز دشت می باشد. جهت جریان آب زیرزمینی در مناطق غرب و جنوب از شیب توپوگرافی و شبکه آبراهه های سطحی تبعیت نکرده و جهت کلی جریان به سمت مرکز دشت می باشد. با توجه به نقشه هم عمق آب زیرزمینی حداکثر تراز عمق سطح آب زیرزمینی ۱۸۰ متر در شمال دشت در منطقه عبدالآباد و حداقل آن ۲۰ متر در جنوب دشت در اراضی میاندهی ملاحظه می گردد.

با توجه به افت ۵ ساله نقشه هم افت آب زیرزمینی دشت مهولات حداکثر افت ۱۸/۴۷ متر در پیژومتر جنوب غرب عبدالآباد و حداقل افت سطح آب زیرزمینی ۱/۴۶ متر در پیژومتر میاندهی در جنوب دشت می باشد. روند افت سطح آب زیرزمینی در دشت مهولات از جنوب و غرب به سمت شمال شرق افزایش می یابد. وضعیت بحرانی افت سطح آب در این دشت ناشی از افزایش تعداد چاهها و بهره برداری زیاد می باشد.

با بررسی نقشه هم هدایت الکتریکی مهولات- فیض آباد حداکثر میزان هدایت الکتریکی در این دشت در جنوب منطقه ۶۴۳۰ میکروموس بر سانتی متر و حداقل آن ۱۳۲۹ میکروموس بر سانتی متر در شمال دشت (شرق روستای عبدالآباد) ملاحظه می گردد. وجود تشکیلات نئوزن در شمال غرب و همچنین رسوبات دانه ریز (رس) در شرق حوضه و قرار گرفتن این محدوده مطالعاتی در مجاورت منطقه کویری (دشت بجستان و عمرانی) از دلایل کیفیت نامناسب آب است که از شمال شرق به سمت جنوب، غرب و جنوب غرب افزایش می یابد. در صورت ادامه بهره برداری فعلی که مخروط افت قابل توجهی را در محل تجمع چاه های بهره برداری عمیق (تقریبا در مرکز دشت) ایجاد نموده است، منحنی های هدایت الکتریکی از حواشی دشت (به خصوص جنوب، جنوب غرب و غرب) به سمت مرکز آن افزایش و جابجا می گردد. جریان های سطحی ورودی با کیفیت مناسب از شمال شرق (دشت ازغند) سبب بهبود کیفی آب در منطقه شمال دشت فیض آباد- مهولات گردیده است.

بطور کلی اکثر نمونه های آب زیرزمینی دشت فیض آباد از نظر مصارف کشاورزی در کلاس شوری و قلیائیت زیاد (C3S3)، شوری خیلی زیاد- قلیائیت زیاد (C4S3) قرار دارد. همچنین با ادامه بهره برداری فعلی، نمونه های آب در کلاس شوری و قلیائیت زیاد به سمت کلاس های شوری خیلی زیاد و قلیائیت زیاد (C4S3) و شوری و قلیائیت خیلی زیاد (C4S4) تغییر کیفیت داده و محدودیت های زیادی را ایجاد می نماید. بررسی های هیدروژئولوژیکی در دشت مهولات نشان می دهد که هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در این منطقه بین ۶۴۳۴ تا ۱۶۰۰۰ میکروموس بر سانتی متر متغیر است، که این مسئله نشانه ای از شوری بالای منابع آب زیرزمینی است. با توجه به این شرایط، بهره برداری بهینه از منابع آب شور می تواند از طریق اجرای پروژه های سازگاری و مدیریت همزمان آبی پرووری و کشاورزی در مقیاس مزرعه محقق شود.

در ادامه چرخه بهره برداری، پس از پرورش ماهی، آب خروجی می تواند برای کشت محصولات کشاورزی مقاوم به شوری استفاده شود. پسته، که محصول اصلی منطقه مهولات است، به خوبی با شرایط شوری حدود ۱۴ دسی زیمنس بر متر سازگار است. علاوه بر آن، محصولات دیگری همچون خرما، زیتون و جو نیز به دلیل مقاومت طبیعی خود در برابر شوری بالا، گزینه های مناسبی برای کشت در این شرایط هستند. بنابراین، توصیه می شود ابتدا پرورش ماهیانی مانند تیلاپیا یا سی باس آسیایی انجام شود و سپس در چرخه کشاورزی، محصولات

و محصولات کشاورزی در جدول (۳) ارائه شده است. در بخش پرورش ماهی، با توجه به شوری بالای آب منطقه، گونه‌هایی مانند تیلاپیا و سی‌باس آسیایی به عنوان گزینه‌های مناسب معرفی می‌شوند. این ماهیان مقاومت قابل توجهی در برابر شوری بالا دارند و در سیستم‌های تلفیقی کشاورزی-آبزی پروری عملکرد مناسبی از خود نشان می‌دهند. همچنین، گونه‌های دیگری مانند خرچنگ و میگو نیز می‌توانند در این شرایط پرورش داده شوند که علاوه بر مقاومت شوری، دارای ارزش صادراتی بالایی هستند. با توجه به رتبه‌ها و راهکارهایی حاصل از روش تحلیل خاکستری، در جدول (۴)، به هر یک از راهکارها که با رتبه مرتبط است، اشاره می‌گردد.

جدول ۴: راهکارهای استفاده از منابع آب شور در محدوده مطالعاتی مه ولات

رتبه	شاخص	امتیاز
۱	راه اندازی بازار آب برای خرید و فروش آب و پساب با تدوین مقررات مناسب	۰/۵۵
۲	احداث صنایع با تمرکز بر آب شور	۰/۵۵
۳	وضع ضوابط تشویقی به واحدهای صنعتی جهت تولید پساب با کیفیت استاندارد	۰/۵۴
۴	اجرای طرح اختلاط آب شور و شیرین	۰/۵۴
۵	بهبود یا احداث سیستم اسمز	۰/۵۳
۶	احداث آب شیرین کن	۰/۵۳
۷	توسعه و تکمیل نصب کنتورهای هوشمند بر روی تمامی چاه‌های مجاز	۰/۵۳
۸	بازنگری قوانین و مقررات بازدارنده (جرایم) جهت کنترل میزان مصرف بر اساس کاربری‌های مختلف	۰/۵۱
۹	وضع ضوابط تشویقی به مصرف کنندگان دارای فناوری‌های صرفه جویی آب	۰/۵۰
۱۰	توسعه و جایگزینی سیستم‌های آبیاری سنتی مبتنی بر آب شور	۰/۴۹
۱۱	تشویق صنایع تولیدکننده محصولات کاهنده مصرف آب	۰/۴۸
۱۲	توسعه فرهنگ و فناوری بازچرخانی و استفاده چندباره آب بصورت درون بخشی در صنعت (مانند تصفیه و استفاده مجدد در فرایند)	۰/۴۴
۱۳	تشویق و حمایت از پژوهشگران جهت تحقیق و پژوهش کاربردی در زمینه آب و فاضلاب	۰/۴۳
۱۴	احداث تصفیه خانه	۰/۴۳
۱۵	انتشار شفاف اطلاعات منابع و مصارف آب برای عموم	۰/۴۱
۱۶	استفاده از سیستم‌های آنلاین پایش کمی و کیفی ورودی و خروجی جهت آلوده کنندگان خاص و انتقال داده به مراجع نظارتی	۰/۳۸
۱۷	اخذ جریمه از توسعه فعالیت‌های آب طلب در حوضه	۰/۳۶
۱۸	توسعه فرهنگ و فناوری بازچرخانی و استفاده چندباره آب بصورت درون بخشی	۰/۳۵
۱۹	مدیریت و پایش مواد شیمیایی در صنعت و نحوه دفع آنها به منابع آب (کنترل و مدیریت در مبدأ)	۰/۳۵
۲۰	تقویت سیستم‌های پایش کیفی منابع آب	۰/۳۲
۲۱	اجرای الگوی کشت بهینه با محوریت سازگاری با کم آبی	۰/۳۱
۲۲	اعمال سیاست‌های تشویقی به واردات آب مجازی به حوضه آبریز	۰/۳۰
۲۳	اجرای عملیات استفاده منابع آب نامتعارف	۰/۲۹
۲۴	جلوگیری از توسعه صنایع آب طلب	۰/۲۸
۲۵	تقویت سیستم‌های نظارت و مقابله با جرایم آبی (اضافه برداشت و آلوده سازی)	۰/۲۴
۲۶	انتقال آب از حوضه مجاور	۰/۱۶
۲۷	مدیریت فلزات سنگین در سطح حوضه آبریز (واردات، مصرف و انتشار)	۰/۱۴
۲۸	اجرای راهکارهای سازگاری با کم آبی در سطح حوضه	۰/۱۰

۱. راه‌اندازی بازار آب برای خرید و فروش آب و پساب با تدوین مقررات مناسب: این راهکار متمرکز بر ایجاد یک بازار آب مناسب است که امکان خرید و فروش آب و پساب را فراهم می‌کند. تدوین مقررات مناسب در این زمینه می‌تواند به تنظیم و کنترل صحیح فعالیت‌های مرتبط با آب شور کمک کند.

۲. احداث صنایع با تمرکز بر آب شور: این راهکار به ایجاد صنایع و فعالیت‌هایی که بر روی فرآوری و استفاده از آب شور تمرکز داشته باشند، متمرکز است. با توجه به خصوصیات آب شور، صنایع مختص به آن می‌توانند منابع آب شور را به نحو اقتصادی و اکولوژیکی بهره‌برداری کنند.

۳. وضع ضوابط تشویقی به واحدهای صنعتی جهت تولید پساب با کیفیت استاندارد: این راهکار به تنظیم ضوابط و الگوهای تشویقی برای واحدهای صنعتی می‌پردازد تا پساب‌های با کیفیت استاندارد تولید کنند. این اقدام می‌تواند به بهبود کیفیت پساب‌های تخلیه شده و کاهش تاثیرات آن‌ها بر محیط زیست کمک کند.
۴. اجرای طرح اختلاط آب شور و شیرین: این راهکار به اختلاط آب شور و شیرین با هدف کاهش میزان شوری آب مورد استفاده می‌پردازد. با اجرای این طرح، میزان شوری آب تقاضا شده کاهش می‌یابد و استفاده از آب شور در برخی فعالیت‌ها و استفاده‌های مختلف ممکن می‌شود.
۵. بهبود یا احداث سیستم اسمز: سیستم‌های اسمز به منظور تصفیه و تحلیل آب شور استفاده می‌شوند. بهبود و یا احداث سیستم‌های اسمز می‌تواند کمک کند تا آب شور به آب شیرین تبدیل شود و قابل استفاده در فعالیت‌ها و مصارف مختلف باشد.

منابع و مراجع

- بهرامی جوبین، ا. حسینی، س. م. (۱۳۹۴). مقایسه سازماندار روش‌های زمین آماری برای بر آورد شوری آب زیرزمینی در مناطق کویری مطالعه موردی: دشت فیض آباد- مه ولات. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۱(۲)، ۱-۱۵.
- حسینی ظفرآبادی، سیده صدیقه، نفرزادگان، علیرضا، و وقارفر، حسن. (۱۳۹۹). ارزیابی توسعه ی منابع نامتعارف آب (لب شور و شور) در غرب استان هرمزگان. مهندسی اکوسیستم بیابان، ۹(۲۹)، ۷۵-۸۸.

REFERENCE

- Ahmad, Reza, Ommani. (2011). 3. Strengths, weaknesses, opportunities and threats (SWOT) analysis for farming system businesses management: Case of wheat farmers of Shadervan District, Shoushtar Township, Iran. *African Journal of Business Management*, doi: 10.5897/AJBM.9000528
- Ben, Belton., Ben, Belton., David, C., Little., Wenbo, Zhang., Peter, Edwards., Michael, Skladany., Shakuntala, H., Thilsted. (2020). 7. Farming fish in the sea will not nourish the world. *Nature Communications*, doi: 10.1038/S41467-020-19679-9
- Chen, Ruiyi., Xu, Dongdong., Tan, Peng., Wang, Ligai., Qihui, Zhu., Wang, Bo. (2019). 8. Multifunctional saltwater fish aquaculture device for experiments.
- Chen, X.L., Kang, Y.H., Wan, S.Q., Chu, L.L., Li, X.B., 2015. Chinese rose (*Rosa chinensis*) cultivation in Bohai Bay, China, using an improved drip irrigation method to reclaim heavy coastal saline soils. *Agric. Water Manage.* 158, 99e111. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.04.017>.
- Clara, Lawrence. (2021). 2. Breeding Aquatic Plants and Animals in Marine and Fresh Waters. doi: 10.36648/2581-804X.21.5.12
- Dawid, Szpak., Barbara, Tchórzewska-Cieślak. (2019). 7. The Use of Grey Systems Theory to Analyze the Water Supply Systems Safety. *Water Resources Management*, doi: 10.1007/S11269-019-02348-Y
- Denise, Campbell. (2022). 1. Fish Farming Techniques: Current Situation and Trends. *Journal of Marine Science and Engineering*, doi: 10.3390/jmse10111598
- Dimitra, Lazaridou., Anastasios, Michailidis., Marios, Trigkas., Panagiotis, Stefanidis. (2019). Exploring irrigation water issue through quantitative SWOT analysis: the case of Nestos river basin. 445-460. doi: 10.1007/978-3-030-12169-3_30
- E, Oveisi. (2019). 1. Development of Comprehensive Water Resources Management Plan using SWOT Model. doi: 10.26782/JMCMS.2019.04.00039
- G., R., Kanagachidambaresan. (2022). 6. IoT-Based Shrimp Farming. doi: 10.1007/978-1-4842-8108-6_10
- Haseeb, ur-R., Aamir, H., Muhammad, W., Ammar, A., Ijaz, A., et al., 2021. Performance evaluation of indigenous floppy sprinkler irrigation system for various crops water management. *J. King Saud Univ. Sci.* 33(8), 101636. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101636>.
- Hu, Xiaoyong., Mai, Yuliang., Bin, Li., Lin, Lan. (2019). Water circulation aquaculture system.
- Kim, Chang, Geom., Kang, Gyung, Jo. (2018). 9. Fishery Farming System Preventing From Red Tide Damaging.
- Li, X.B., Kang, Y.H., ۲۰۲۰. Agricultural utilization and vegetation establishment on saline-sodic soils using a wateresalt regulation method for scheduled drip irrigation. *Agric. Water Manag.* ۲۳۱, ۱۵۱۱. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.10.059>
- Liu, Guohuan. (2016). 10. Fish farming device for marine fishing ground.
- Nazar, Gul., Hafiz, Abdul, Salam., Muhammad, Ashraf., Naveed, Iqbal. (2023). 6. Response of Different Fish Species to Highly Saline Water under Desert Climate Condition - Finding Options for Local Food Security. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*, doi: 10.9734/ajfar/2023/v24i4637
- Nguyen, T. D. L., Defloor, B., Speelman, S., & Bleys, B. (2024). Does Adaptation to Saltwater Intrusion Improve the Livelihoods of Farmers? Evidence for the Central Coastal Region of Vietnam. *Sustainability*, 16(14), 6216. <https://doi.org/10.3390/su16146216>



- Offshore Fish Farming (2022). Offshore Fish Farming. doi: 10.1201/9781003184287-4
- Pettersen, Roy, Bernt., Ben, Tommy, Eriksen. (2019). 4. Efficient land-based fish farm.
- Qadir, M., Noble, A., Karajeh, F., & George, B. (2015). Potential Business Opportunities from Saline Water and Salt-affected Land Resources. *Research Papers in Economics*. <https://doi.org/10.5337/2015.206>
- R., Lothmann., Hani, Atef, Nabhan, Sewilam. (2022). 3. Potential of innovative marine aquaculture techniques to close nutrient cycles. *Reviews in Aquaculture*, doi: 10.1111/raq.12781
- Su, Q., Kambale, R. D., Tzeng, J.-H., Amy, G. L., Ladner, D. A., & Karthikeyan, R. (2025). *The Growing Trend of Saltwater Intrusion and Its Impact on Coastal Agriculture: Challenges and Opportunities*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178701>
- Thormund, Johannesen., Marni, Olsen. (2019). 5. Offshore fish farm.
- Tuan, Tran, Nguyen., Canh, Thi, Thanh, Truong. (2022). 4. Integral swot-ahp-tows model for strategic agricultural development in the context of drought: a case study in ninh thuan, vietnam. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, doi: 10.13033/ijahp.v14i1.890
- Yan, K., Shao, H.B., Shao, C.Y., Chen, P., Zhao, S.J., Brestic, M., Chen, X.B., 2013. Physiological adaptive mechanisms of plants grown in saline soil and implications for sustainable saline agriculture in coastal zone. *Acta Physiol. Plant.* 35, 2867e2878. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1325-7>