

تحلیل چندبعدی عملکرد اجتماعی بخشی از شبکه‌ی آبیاری سفیدرود استان گیلان

چکیده

این پژوهش به ارزیابی عملکرد اجتماعی بخشی از شبکه‌ی آبیاری سفیدرود گیلان (کانال لنگرود و ۱۰ کانال فرعی آن) با استفاده از روش‌های کمی و کیفی می‌پردازد. داده‌ها از طریق پرسشنامه و از بهره‌برداران ۱۰ کانال فرعی کانال لنگرود جمع‌آوری شدند و عملکرد این کانال‌های فرعی، بر اساس چهار شاخص کلیدی رضایت، عدالت، تأثیرات اقتصادی و مشارکت ارزیابی شد. بر اساس روش دلفی، به چهار شاخص یادشده، به ترتیب وزن‌های ۰/۲۵، ۰/۱۵، ۰/۳۵ و ۰/۲۵ اختصاص یافت. تحلیل خوشه‌ای با استفاده از الگوریتم K-Means، کانال‌های فرعی را به سه گروه با عملکرد بالا، متوسط و پایین تقسیم‌بندی کرد. شاخص مشارکت در تمامی خوشه‌ها عملکرد ضعیفی داشت (میان‌ه‌ی حدود ۲۵) و همبستگی معناداری با سایر شاخص‌ها نشان نداد. تحلیل کیفی مصاحبه‌های انجام‌شده نشان داد که چالش‌های توزیع آب (فراوانی ۸)، نارضایتی بهره‌برداران (فراوانی ۷) و مشارکت پایین (فراوانی ۶)، از مهم‌ترین مسائل کانال لنگرود هستند. همبستگی قوی بین شاخص عدالت و تأثیرات اقتصادی ($r = 0.74$)، بر نقش عدالت در بهبود وضعیت اقتصادی تأکید داشت. یافته‌ها حاکی از وجود چالش‌های سیستمی مانند ضعف در سازوکارهای مشارکت و توزیع ناعادلانه‌ی آب در کانال لنگرود است. پیشنهاد می‌شود با تقویت سرمایه‌ی اجتماعی، بهبود زیرساخت‌ها و اجرای برنامه‌های آموزشی، عملکرد اجتماعی شبکه ارتقا یابد. این پژوهش بر اهمیت رویکرد یکپارچه برای مدیریت پایدار شبکه‌های آبیاری تأکید می‌کند.

کلمات کلیدی: مدیریت آبیاری، مشارکت بهره‌برداران، توزیع عادلانه‌ی آب، پایداری اجتماعی

Multidimensional Analysis of the Social Performance of a Segment of the Sefidroud Irrigation Scheme in Guilan Province

ABSTRACT

This study evaluates the social performance of a segment of the Sefidroud irrigation network in Guilan, specifically, the Langroud Canal and its 10 secondary canals, using both quantitative and qualitative methods. Data were collected via questionnaires from stakeholders of these secondary canals, and their performance was assessed based on four key indicators: satisfaction, equity, economic impacts, and participation. According to the Delphi method, these indicators were assigned weights of 0.25, 0.25, 0.15, and 0.35, respectively. A K-Means clustering analysis grouped the secondary canals into three performance tiers: high, medium, and low. The participation index consistently scored low across all clusters (median around 25) and showed no significant correlation with other indicators. Qualitative analysis of interviews highlighted key concerns: water distribution challenges (mentioned 8 times), user dissatisfaction (7 mentions), and low participation (6 mentions) were the most frequently cited issues. A

strong correlation between the equity and economic impacts indices ($r = 0.74$) emphasized the role of fair water access in improving economic conditions. The findings point to systemic issues, such as weak participation mechanisms and inequitable water distribution within the Langroud Canal system. To enhance the network's social performance, the study recommends strengthening social capital, improving infrastructure, and implementing educational programs. Overall, the research underscores the need for an integrated approach to achieve sustainable irrigation network management.

Keywords: Irrigation Management, Stakeholder Participation, Equitable Water Distribution, Social Sustainability

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر، ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری به عنوان یکی از مؤلفه‌های کلیدی در سنجش پایداری و کارایی سامانه‌های تأمین و توزیع آب کشاورزی، به شکلی فزاینده در دستور کار پژوهشگران و نهادهای اجرایی قرار گرفته است (Garcia-Espinal et al., 2024; Hashemi et al., 2024; Mateos et al., 2018; Tran et al., 2018). این ارزیابی‌ها در بستر بحران‌های اقلیمی و اثر تغییر اقلیم، کاهش منابع آبی و فشارهای فزاینده بر سامانه‌های کشاورزی، بیش از پیش اهمیت یافته‌اند. در کشاورزی با منابع محدود آب، عملکرد مناسب شبکه‌های آبیاری نه تنها شرطی برای بهره‌وری و امنیت غذایی، بلکه بستری برای پایداری اجتماعی و زیست‌محیطی است.

از همین رو، ارزیابی عملکرد صرفاً بر پایه‌ی شاخص‌های فنی کافی نیست و لازم است با دیدگاه‌های چندبعدی و بین‌رشته‌ای، مؤلفه‌هایی چون عدالت در توزیع آب، کفایت در تحویل، و میزان مشارکت بهره‌برداران نیز مورد سنجش قرار گیرد (Rahmati & Monem, 2022; Shafiee & Shahrokhnia, 2019). در سطح بین‌المللی، چارچوب‌های تحلیلی متعددی برای این منظور ارائه شده‌اند که تلاش می‌کنند بین شاخص‌های فنی و تجربیات واقعی بهره‌برداران، توازن برقرار کنند و عملکرد شبکه‌ها را در قالب مفاهیمی چون کفایت، عدالت، کارایی عملیاتی و قابلیت اطمینان ارزیابی کنند (Gorantiwar & Smout, 2005; Molden et al., 1991; Smout & Gorantiwar, 2005).

در ایران نیز، با وجود پیشرفت‌هایی قابل توجه در زیرساخت‌ها و شبکه‌های آبیاری، مشارکت بهره‌برداران در مدیریت شبکه‌ها اغلب محدود و پراشکال است. نبود ساختارهای مشارکتی، ضعف در نهادسازی محلی و سیاست‌های متمرکز بالا به پایین، از جمله عوامل کاهنده‌ی اثربخشی این شبکه‌ها بوده‌اند. با این حال، شواهد پژوهشی داخلی و بین‌المللی نشان می‌دهند که مشارکت بهره‌برداران در

مدیریت منابع آب، می‌تواند نقش مؤثری در ارتقای عملکرد شبکه‌ها، بهبود توزیع عادلانه آب، افزایش تاب‌آوری در برابر تنش‌های آبی و پایداری مدیریتی ایفا کند (Gholami et al., 2017; Meinzen-Dick et al., 2018; Rahmati & Monem, 2022). مشارکت مؤثر، افزون بر ارتقاء حس مالکیت و مسئولیت‌پذیری کشاورزان، زمینه‌ساز بهبود رضایت‌مندی، تصمیم‌سازی مشارکتی و بهره‌برداری بلندمدت از منابع آبی می‌شود (Uysal & Atış, 2010).

۲. پیشنهادی پژوهشی

همان‌گونه که ذکر شد، در ایران مشارکت بهره‌برداران در مدیریت شبکه‌های آبیاری، اغلب محدود است. برای مثال، در شبکه‌های چادگان، دز، درودزن، و قزوین، کشاورزان تنها در سطوح پایین (سطح ۳ و ۴) مشارکت دارند و نبود اعتماد و چارچوب قانونی، موانع اصلی هستند (Heydari, 1395). نجفی و شیروانیان (Najafi & Shirvanian, 2018) در شبکه‌ی درودزن گزارش کردند که مشارکت پایین است، اما بهره‌برداران نیاز به مشارکت را احساس می‌کنند و موانع مشارکت، عملکرد ضعیف سازمان‌های دولتی، مشکلات اقتصادی، کمبود آموزش، و توزیع ناکافی آب است. در همین راستا، یادآور و همکاران (Yadavar et al., 2017) نیز با تأکید بر شرایط اجتماعی و فیزیکی شبکه، خاطرنشان می‌کند که توسعه‌ی فیزیکی شبکه‌های آبیاری بدون در نظر گرفتن نقش جامعه‌ی محلی و مناسبات نظام‌های اجتماعی، نه تنها بستر مشارکت کشاورزان را تضعیف کرده، بلکه پیامدهایی چون کاهش راندمان انتقال، نابرابری در توزیع آب، افزایش نارضایتی، شوری و ماندابی شدن اراضی، تخریب سازه‌ها و مصرف غیربهره‌ی منابع آبی را در پی داشته است. این یافته‌ها بیانگر آن است که نبود بستر نهادی و اجتماعی مناسب برای مشارکت، می‌تواند عملکرد کل شبکه را دچار اختلال و ناپایداری کند.

علی‌رغم مشارکت پایین بهره‌برداران در مدیریت شبکه‌های آبیاری در ایران، مطالعات مختلف به نقش این مشارکت تأکید می‌کنند. به‌عنوان مثال، حاتم و همکاران (Hatam et al., 2013) در مدلی بر پایه‌ی پویایی سیستم برای بهسازی شبکه‌ی آبیاری قزوین نشان دادند که در کنار اصلاحات فیزیکی و مدیریتی، افزایش مشارکت کشاورزان بیشترین تأثیر را بر ارتقای عملکرد شبکه خواهد داشت و به‌تنهایی می‌تواند تا ۱۴ درصد، عملکرد شبکه را بهبود دهد. حسینی رشت‌آبادی و همکاران (Hossieni RashtAbadi et al., 2025) نیز نشان دادند افزایش آگاهی شالیکاران شبکه‌ی سفیدرود از فرسایش خاک، حاصلخیزی و تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب و مشارکت آنان در مدیریت شبکه با توجه به این چالش‌ها، از مؤلفه‌های موثر بر تاب‌آوری کشاورزان خواهد بود. همچنین تجربه‌ی انتقال مدیریت بهره‌برداری در دشت قزوین نشان داده است که توسعه‌ی مدیریت مشارکتی می‌تواند منجر به ساده‌سازی فرآیندهای اجرایی، کاهش

تصدی‌گری دولت، افزایش کارآمدی توزیع آب، و حتی ایجاد اشتغال در سطح محلی شود (Moradinejad, 2019). مطالعه‌ی لطفی و همکاران (Lotfi et al., 2024)، با تحلیل نظرات خبرگان حوزه‌ی آب استان گیلان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی نشان داد رفع چالش‌های موجود در حوزه‌ی تأمین، انتقال و مصرف آب در شبکه‌ی آبیاری سفیدرود، از طریق نوسازی کانال‌ها، اجرای طرح‌های تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری، ارتقاء آموزش بهره‌برداران و تقویت تشکلهای آب‌بران و مشارکت آنان امکان‌پذیر است.

شبکه‌ی آبیاری سفیدرود، به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین شبکه‌های آبیاری کشور، آب بیش از ۱۸۰ هزار هکتار شالیزار در استان گیلان را تأمین می‌کند و معیشت هزاران خانوار کشاورزی به آن وابسته است. این شبکه، که در گذشته به دلیل طراحی پیشرفته‌اش شهرت داشت، اکنون با مشکلاتی مانند تخریب سازه‌ها، ضعف در نگهداری، و تغییرات غیرمجاز توسط بهره‌برداران روبه‌رو است (Seyed Hoshiyar et al., 2021). این چالش‌ها نه تنها بر عملکرد فنی شبکه، بلکه بر ابعاد اجتماعی، نهادی و اعتماد عمومی نیز اثر منفی گذاشته و موجب افزایش نارضایتی و نابرابری در دسترسی به آب در میان کشاورزان شده است.

با وجود نقش کلیدی این شبکه، ارزیابی عملکرد اجتماعی این شبکه با تمرکز بر دیدگاه بهره‌برداران، کمتر مورد توجه گرفته است. اغلب مطالعات پیشین بر تحلیل‌های فنی، راندمانی و هیدرولیکی و نظر متخصصان تمرکز داشته‌اند در حالی که سطح رضایت، احساس عدالت در توزیع آب و مشارکت نهادی بهره‌برداران کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. این پژوهش با هدف پر کردن این خلأ، تلاش دارد با تکیه بر داده‌های میدانی و شاخص‌های ترکیبی، تصویری از پایین به بالا از وضعیت عملکرد اجتماعی بخشی از شبکه‌ی سفیدرود ارائه دهد. یافته‌های این پژوهش می‌تواند به مدیران آب منطقه‌ای، نهادهای سیاست‌گذار و تشکلهای بهره‌بردار در طراحی برنامه‌های مشارکتی، افزایش بهره‌وری، ارتقای عدالت اجتماعی، و بهبود حکمرانی محلی منابع آب کمک کند.

۳. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش با هدف ارزیابی عملکرد اجتماعی کانال لنگرود در شبکه‌ی آبیاری سفیدرود، واقع در استان گیلان، با رویکردی ترکیبی از روش‌های کمی و کیفی انجام شد. کانال لنگرود در زیرواحد D2 در شبکه‌ی سفیدرود قرار گرفته و آب موردنیاز ۵,۵۱۴ هکتار شالیزار را از طریق ۱۰ کانال فرعی تأمین می‌کند. این کانال، بتنی دوزنقه‌ای با طول ۲۸ کیلومتر، عرض کف ۲ تا ۳ متر، و عمق ۱/۵ تا ۱/۸ متر است.

کانال لنگرود در حدود ۷۵۰۰ بهره‌بردار را تحت پوشش قرار می‌دهد. میانگین مساحت زمین هر بهره‌بردار ۰/۷۳ هکتار است که این الگوی مالکیت، تقریباً در سراسر استان گیلان وجود دارد. با توجه به جامعه‌ی آماری با ۷۵۰۰ بهره‌بردار و بر اساس فرمول کوکران اصلاح‌شده (سطح اطمینان ۹۵ درصد و حاشیه‌ی خطای پنج درصد)، حجم نمونه ۳۶۵ نفر محاسبه شد. با این حال، به دلیل عدم همکاری برخی بهره‌برداران و محدودیت‌های اجرایی، تنها ۱۲۰ بهره‌بردار مورد پرسش قرار گرفتند. این کاهش حجم نمونه، حاشیه‌ی خطا را به ۸/۹۵ درصد افزایش داد که به‌عنوان محدودیت پژوهش در نظر گرفته شد. روش نمونه‌گیری، روش نمونه‌گیری طبقه‌بندی‌شده بود و در ابتدا بهره‌برداران بر اساس ویژگی‌های کلیدی مانند موقعیت جغرافیایی (بالادست، میانی، پایین‌دست) و مساحت زمین (بزرگ، متوسط، کوچک) به طبقات مختلف تقسیم شدند و سپس از هر طبقه به‌صورت تصادفی نمونه‌گیری شد. این روش، با تضمین حضور نمایندگان از هر طبقه، از سوگیری احتمالی در انتخاب نمونه (مانند تمرکز بیش از حد بر بهره‌برداران مناطق بالادست) جلوگیری می‌کند و تنوع اجتماعی-اقتصادی جامعه‌ی آماری را بهتر بازتاب می‌دهد.

داده‌ها با استفاده از پرسشنامه‌ای ساختاریافته جمع‌آوری شدند. پرسشنامه بر اساس چارچوب‌های استاندارد ارزیابی شبکه‌های آبیاری (FAO, 1999) طراحی شد و شامل سوالاتی در قالب چهار بخش اصلی بود: بخش اول برای برآورد شاخص رضایت کشاورزان (Farmer Satisfaction Index, FSI)، بخش دوم برای برآورد شاخص مشکلات دسترسی به آب (Water Access Difficulty Index, WADI)، بخش سوم برای برآورد شاخص تأثیرات اقتصادی (Economic Impact Index, EII) و در نهایت بخش چهارم برای برآورد شاخص مشارکت کشاورزان (Farmer Participation Index, FPI). به‌منظور اختصار در نگارش، از این چهار شاخص تحت عناوین شاخص رضایت، شاخص عدالت، شاخص تأثیرات اقتصادی و شاخص مشارکت نام خواهیم برد. هر شاخص با سؤالات مقیاس لیکرت پنج‌درجه‌ای (۱= کاملاً مخالف، ۵= کاملاً موافق) سنجیده شد. روایی پرسشنامه با نظر متخصصان مهندسی آب و بهره‌برداران محلی تأیید شد و پایایی آن با آلفای کرونباخ (۰/۸۷) بررسی شد.

برای تحلیل عمیق‌تر، مصاحبه‌های ساختاریافته با ۱۵ بهره‌بردار و ۵ مدیر محلی شبکه انجام شد. این مصاحبه‌ها برای شناسایی موانع مشارکت، چالش‌های دسترسی به آب، و عوامل مؤثر بر رضایت بهره‌برداران طراحی شدند. داده‌های کیفی حاصل از مصاحبه‌ها با روش تحلیل محتوای کیفی و کدگذاری باز و محوری تحلیل شدند. ابتدا، متن مصاحبه‌ها پیاده‌سازی و در قالب فایل‌های متنی وارد محیط پایتون شدند. با استفاده از کتابخانه‌های pandas و nltk (Natural Language Toolkit)، متن‌ها پیش‌پردازش شدند که شامل

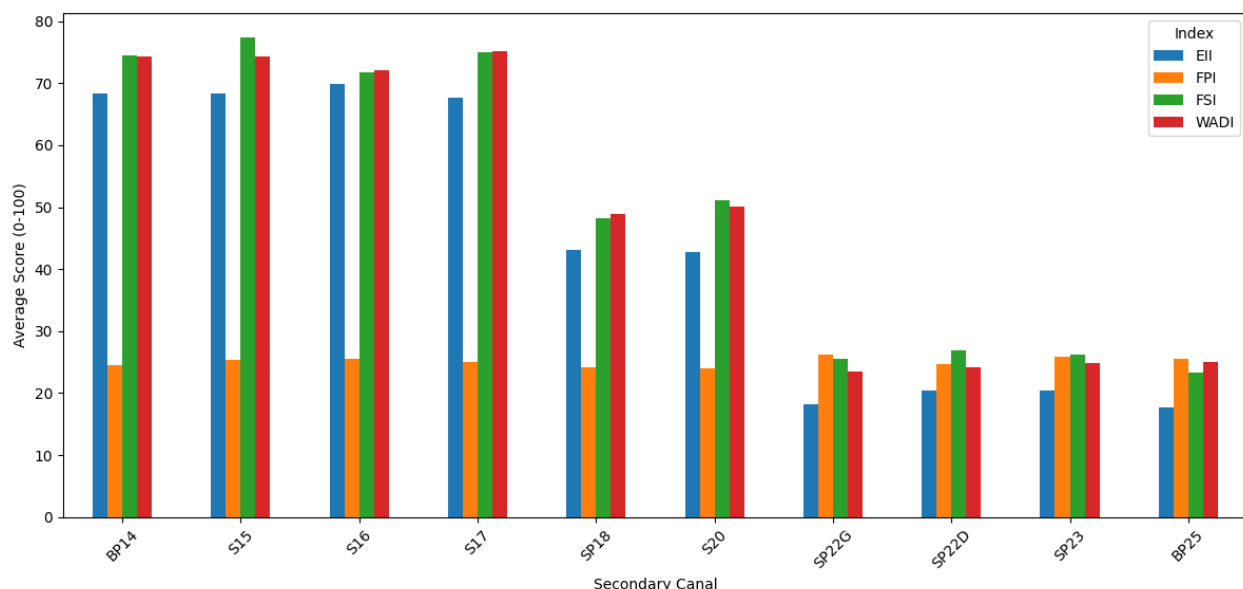
حذف کلمات توقف (stop words)، نرمال سازی متن و توکن سازی بود. سپس، کدگذاری باز با شناسایی عبارات و مفاهیم کلیدی مرتبط با موضوعات پژوهش مانند کمبود آب، مشارکت پایین، یا نابرابری توزیع انجام شد. در مرحله ی کدگذاری محوری، کدها بر اساس روابط و الگوهای مشترک دسته بندی شدند تا مضامین اصلی مانند چالش های مدیریتی یا عوامل اقتصادی استخراج شوند. این فرآیند با استفاده از توابع تجزیه و تحلیل متن در nltk و ابزارهای بصری سازی داده در matplotlib برای نمایش فراوانی مضامین، پشتیبانی شد. برای اطمینان از اعتبار تحلیل، کدها و مضامین استخراج شده توسط دو محقق مستقل بازبینی شدند.

داده های کمی در محیط پایتون با استفاده از کتابخانه های pandas، numpy و scipy تحلیل شدند. میانگین چهار شاخص محاسبه شده برای هر کانال فرعی، با استفاده از وزن های تعیین شده از طریق روش دلفی (بر اساس نظرات خبرگان) محاسبه و به بازه ی صفر تا ۱۰۰ استاندارد سازی شد. تحلیل های آماری شامل آمار توصیفی، آزمون t تک نمونه ای، تحلیل واریانس یک طرفه، و ضریب همبستگی پیرسون بود تا تفاوت های مناطق بالادست، میانی، و پایین دست کانال و روابط بین شاخص ها بررسی شوند. از نظر اخلاقی، رضایت آگاهانه از پاسخ دهندگان اخذ شد و هویت آن ها محرمانه ماند. این رویکرد ترکیبی، تصویری جامع از عملکرد اجتماعی کانال لنگرود ارائه داد و امکان ارائه ی پیشنهادهایی برای بهبود مدیریت مشارکتی این بخش از شبکه ی سفیدرود فراهم کرد.

۴. یافته های پژوهش

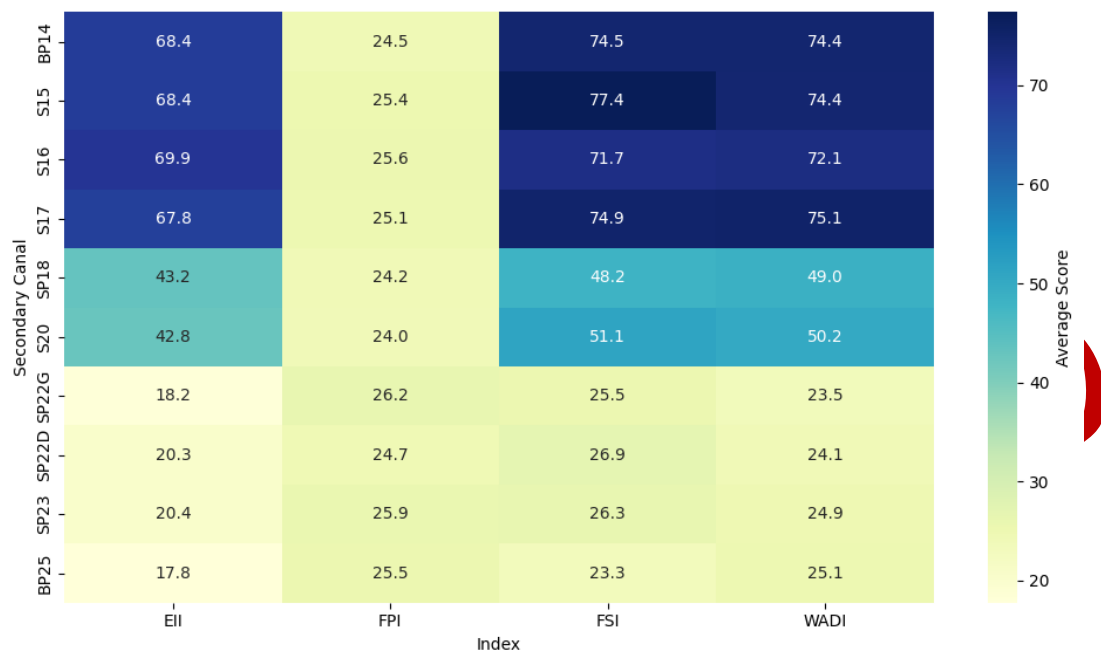
تحلیل نتایج حاصل از پژوهش، تصویری جامع از وضعیت هر کدام از ۱۰ کانال فرعی کانال لنگرود ارائه می دهد. این کانال ها به ترتیب از بالادست به پایین دست با نامهای BP14، S15، S16، S17، SP18، S20، SP22G، SP22D، SP23 و BP25 در شرکت بهره برداری از شبکه های آبیاری و زهکشی استان گیلان شناسایی می شوند. شکل ۱ میانگین نمرات شاخص های رضایت (FSI)، عدالت (WADI)، تأثیرات اقتصادی (EII) و مشارکت (FPI) را برای هر یک از کانال های فرعی نشان می دهد. بر اساس این شکل، کانال های BP14، S15، S16 و S17 در شاخص های رضایت، عدالت و تأثیرات اقتصادی عملکردی برجسته و بالاتر از میانگین دارند (مهره ی بالاتر در هر شاخص به معنای وضعیت بهتر است). این کانال ها که در مناطق بالادست شبکه قرار دارند، نمراتی بالاتر از ۶۵ در شاخص های یاد شده کسب کرده اند که ظاهراً نشان دهنده ی توزیع کافی آب در این مناطق است، هر چند ممکن است این دسترسی کافی به آب، مشکلاتی در سایر مناطق ایجاد کرده باشد. در مقابل، کانال های SP22G، SP22D، SP23 و BP25 که در پایین دست واقع شده اند، در تمامی

شاخص‌ها به‌ویژه تأثیرات اقتصادی، نمرات پایینی دارند. این اختلاف عملکرد، نشان‌دهنده‌ی نابرابری قابل‌توجه در عملکرد اجتماعی کانال‌های مختلف است و می‌تواند به عواملی مانند تفاوت در دسترسی به منابع آب یا مدیریت ناکارآمد مرتبط باشد.



شکل ۱. میانگین نمرات شاخص‌های رضایت، عدالت، تأثیرات اقتصادی و مشارکت در کانال‌های فرعی لنگرود

برای تکمیل این تحلیل، شکل ۲ یک نقشه‌ی حرارتی از میانگین نمرات شاخص‌ها برای هر کانال فرعی ارائه می‌دهد که امکان مقایسه‌ی سریع و بصری را فراهم می‌کند. رنگ‌های تیره‌تر (آبی تیره) نمرات بالاتر (نزدیک به ۷۵) و رنگ‌های روشن‌تر (زرد) نمرات پایین‌تر (نزدیک به ۲۰) را نشان می‌دهند. این شکل تأیید می‌کند که کانال‌های بالادست، به غیر از شاخص مشارکت، در سه شاخص دیگر بالاترین نمرات را دارند و میانگین نمرات شاخص‌ها (به غیر از شاخص مشارکت) به تدریج از بالادست به پایین‌دست کاهش می‌یابد. نکته‌ی جالب در این نقشه‌ی حرارتی، الگوی مشابه در شاخص مشارکت است. اکثر کانال‌ها نمراتی در حدود ۲۵ در این شاخص دارند که نشان‌دهنده‌ی یک چالش مشترک در کل بهره‌برداران شبکه است. این شکل، با ارائه دیدگاهی کلی و بصری، به شناسایی الگوهای عملکردی کمک می‌کند و زمینه را برای تحلیل‌های عمیق‌تر فراهم می‌سازد.



شکل ۲. نقشه‌ی حرارتی میانگین نمرات شاخص‌های اجتماعی در کانال‌های فرعی لنگرود

برای اختصاص یک مقدار که نشان‌دهنده‌ی میانگینی از وضعیت هر چهار شاخص در کانال‌های فرعی باشد، از میانگین‌گیری وزنی استفاده شد و بدین منظور، روش دلفی برای وزن‌دهی به شاخص‌ها مورد استفاده قرار گرفت. یافته‌های حاصل از روش دلفی نشان داد از نظر متخصصین، شاخص مشارکت با وزن ۰/۳۵، بیشترین اهمیت را در میان شاخص‌های ارزیابی عملکرد اجتماعی کانال لنگرود دارد. این وزن‌گذاری می‌تواند توجیه نظری قابل قبولی داشته باشد. در واقع، مشارکت فعال بهره‌برداران در تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی و نگهداری شبکه‌های آبیاری موجب افزایش حس مالکیت، کاهش تخریب و اتلاف منابع و ارتقاء پایداری عملکرد سیستم می‌شود که در نهایت به بهبود نتایج اقتصادی نیز منجر خواهد شد. از سوی دیگر، شاخص عدالت و رضایت نیز با وزن‌های ۰/۲۵ نقش مؤثری در ارتقاء همکاری، کاهش تنش‌های محلی و افزایش اعتماد متقابل دارند. این عوامل به‌طور غیرمستقیم موجب بهبود بهره‌وری و کارایی کلی شبکه خواهند شد. در این میان، هرچند شاخص تأثیرات اقتصادی تنها با وزن ۰/۱۵ در نظر گرفته شده، اما می‌توان استدلال کرد که بهبود در شاخص‌های مدیریتی و اجتماعی، خود زمینه‌ساز رشد اقتصادی پایدار خواهد بود. به عبارت دیگر، تمرکز بر حکمرانی مشارکتی، توزیع عادلانه‌ی منابع و ارتقاء رضایت بهره‌برداران می‌تواند به‌عنوان پیش‌نیازهایی برای دستیابی به عملکرد اقتصادی مطلوب تلقی شود. این چارچوب وزن‌دهی، مبنای تحلیل‌های آماری و بصری در این پژوهش بوده و به درک بهتر اهمیت هر شاخص در عملکرد کلی شبکه کمک می‌کند.

جدول ۱ میانگین‌های وزنی شاخص‌ها را برای هر کدام از کانال‌های فرعی با در نظر گرفتن اهمیت نسبی هر شاخص (بر اساس روش دلفی) ارائه می‌دهد. نتایج این جدول تأیید می‌کند که چهار کانال بالادست به دلیل ترکیب متوازن شاخص‌های رضایت، عدالت، تأثیرات اقتصادی و مشارکت، در سطح بالایی از عملکرد اجتماعی قرار دارند. در مقابل، چهار کانال پایین دست به دلیل ضعف در این شاخص‌ها، در پایین‌ترین رتبه‌بندی قرار گرفته‌اند. این یافته‌ها بر اهمیت وزن‌دهی به شاخص‌ها در ارزیابی عملکرد کلی تأکید دارد و نشان می‌دهد که ضعف در یک یا چند شاخص می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر جایگاه کلی یک کانال داشته باشد.

جدول ۱. میانگین وزنی شاخص‌های اجتماعی در کانال‌های فرعی لنگرود با استفاده از وزن‌های روش دلفی

کانال فرعی	میانگین وزنی شاخص‌ها
BP14	56.07
S15	57.10
S16	55.40
S17	56.45
SP18	39.22
S20	40.15
SP22G	24.13
SP22D	24.44
SP23	24.92
BP25	23.70

نتایج آزمون ANOVA برای مقایسه‌ی میانگین شاخص‌ها بین کانال‌ها نشان‌دهنده‌ی وجود تفاوت‌های معنادار آماری ($p\text{-value} < 0/01$) در شاخص‌های رضایت، عدالت و تأثیرات اقتصادی بین کانال‌هاست. این تفاوت‌ها تأیید می‌کند که عوامل محلی و مدیریتی در کانال‌ها تأثیر قابل توجهی بر رضایت، عدالت و نتایج اقتصادی دارند. با این حال، شاخص مشارکت تفاوت معناداری بین کانال‌ها نشان نداد ($p\text{-value} = 0/74$). این امر ممکن است به دلیل سطح نسبتاً یکنواخت مشارکت بهره‌برداران در مناطق مختلف یا ضعف در سازوکارهای نهادسازی برای تشویق مشارکت باشد. این یافته ضرورت بازنگری در برنامه‌های ترویج مشارکت را برجسته می‌کند، به‌ویژه اینکه این شاخص در روش دلفی، وزن بالایی ($0/35$) به خود اختصاص داده است.

جدول ۲ ماتریس همبستگی پیرسون بین شاخص‌های چهارگانه را نشان می‌دهد و ارتباطات قوی بین برخی شاخص‌ها را آشکار می‌سازد. به‌طور خاص، همبستگی بالا بین شاخص‌های رضایت کشاورزان و تأثیرات اقتصادی و همچنین عدالت و تأثیرات اقتصادی مشاهده شد. این روابط مثبت نشان می‌دهند که بهبود در رضایت بهره‌برداران و عدالت در توزیع آب می‌تواند به نتایج اقتصادی بهتری

منجر شود. این یافته با تحلیل روش دلفی همخوانی دارد که بر نقش غیرمستقیم شاخص‌های رضایت بهره‌برداران و عدالت (با وزن‌های ۰/۲۵) در بهبود بهره‌وری و پایداری اقتصادی تأکید کرده بود. در مقابل، شاخص مشارکت کشاورزان همبستگی قابل‌توجهی با سایر شاخص‌ها نداشت که می‌تواند نشان‌دهنده استقلال نسبی این شاخص یا محدودیت‌های موجود در اندازه‌گیری مشارکت باشد. این موضوع با توجه به وزن بالای این شاخص در روش دلفی، نیازمند بررسی دقیق‌تر است. استقلال نسبی شاخص مشارکت، با توجه به نقش محوری مشارکت در پایداری اجتماعی شبکه‌های آبیاری، نیازمند تحلیل عمیق‌تری است.

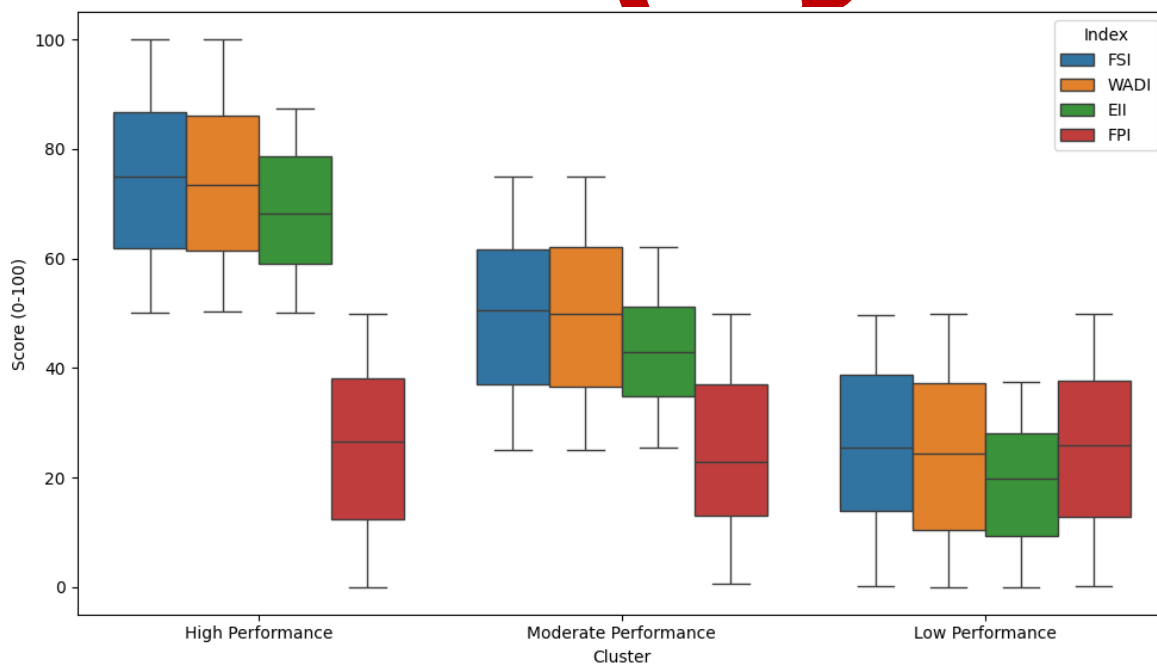
جدول ۲. ماتریس همبستگی پیرسون بین شاخص‌های رضایت، عدالت، تأثیرات اقتصادی و مشارکت

شاخص	تأثیرات اقتصادی	مشارکت کشاورزان	رضایت کشاورزان	عدالت
تأثیرات اقتصادی	1.00	-0.02	0.75	0.76
مشارکت کشاورزان	-0.02	1.00	-0.02	-0.00
رضایت کشاورزان	0.75	-0.02	1.00	0.70
عدالت	0.76	-0.00	0.70	1.00

تحلیل خوشه‌ای بر اساس الگوریتم k-mean برای خوشه‌بندی کانال‌های فرعی نیز انجام شد که بر این اساس، کانال‌ها بر اساس عملکرد اجتماعی به سه گروه با عملکرد بالا، میانه و پایین دسته‌بندی شدند. کانال‌های S15، BP14، S16 و S17 در خوشه‌ی عملکرد بالا قرار دارند که با یافته‌های شکل‌های ۱ و ۲ و جدول ۱ همخوانی دارد. در مقابل، کانال‌های SP23، SP22D، SP22G و BP25 در خوشه‌ی عملکرد پایین طبقه‌بندی شدند و دو کانال SP18 و SP20 در خوشه‌ی عملکرد میانه قرار گرفتند. این دسته‌بندی به‌وضوح ارتباط عملکرد اجتماعی کانال با موقعیت آن را نشان می‌دهد و کانال‌هایی را که نیازمند مداخلات مدیریتی فوری هستند مشخص می‌کند. به‌ویژه کانال‌های پایین‌دست با چالش‌های جدی در توزیع عادلانه‌ی آب و جلب رضایت بهره‌برداران مواجهند.

شکل ۳ توزیع نمرات شاخص‌ها را در سه خوشه‌ی عملکرد بالا، متوسط و پایین نشان می‌دهد. در خوشه‌ی عملکرد بالا، میانه‌ی نمرات شاخص‌ها (به غیر از شاخص مشارکت) در محدوده‌ی ۷۰ تا ۷۸ قرار دارد که نشان‌دهنده‌ی عملکرد قوی کانال‌های بالادست است. با این حال، شاخص مشارکت در این خوشه، نمراتی پایین (میانه‌ی کمتر از ۳۰) دارد که با یافته‌های آزمون ANOVA (عدم تفاوت معنادار در شاخص مشارکت) و جدول ۲ (عدم همبستگی شاخص مشارکت با سایر شاخص‌ها) همخوانی دارد. این موضوع نشان می‌دهد حتی در کانال‌های با عملکرد بالا، مشارکت بهره‌برداران همچنان یک چالش است. در خوشه‌ی با عملکرد پایین که شامل کانال‌های انتهایی SP25، SP23، SP22D، SP22G و SP25 است، نمرات بسیار پایینی (میانه‌ی بین ۱۸ تا ۳۰) در تمامی شاخص‌ها به‌ویژه در شاخص

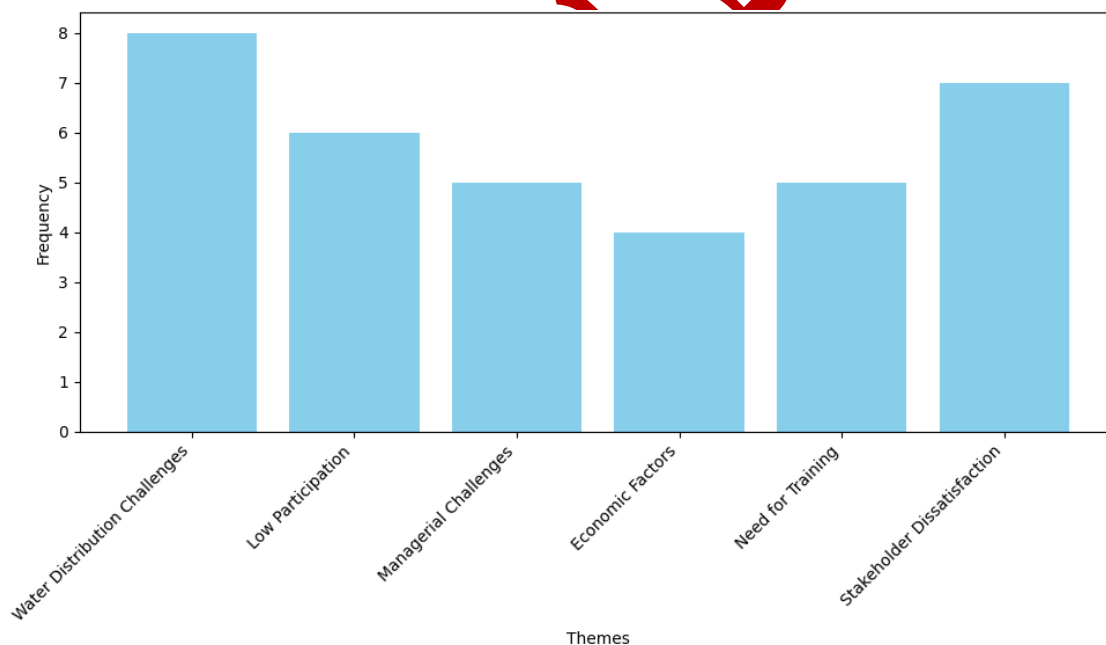
تأثیرات اقتصادی مشاهده می‌شود که این موضوع، با نتایج شکل ۱ و جدول ۱ همخوانی دارد. همچنین این شکل نشان می‌دهد که توزیع نمرات در خوشه‌های مختلف الگوهای تقریباً یکسانی دارند. به عبارت دیگر، هرچند میانگین نمرات در شاخص‌ها در خوشه‌ی با عملکرد پایین کمتر است، اما دامنه‌ی نوسان نمرات آن، مشابه با خوشه‌ی با عملکرد بالا باقی مانده است. این شباهت در الگوی پراکندگی می‌تواند بیانگر آن باشد که برخی چالش‌ها به صورت فراگیر در سطح کل شبکه وجود دارند و صرفاً به موقعیت مکانی یا عملکرد کلی کانال‌ها وابسته نیستند. به عبارتی، ضعف یا نوسان در برخی شاخص‌ها، ممکن است ناشی از عواملی باشد که در کل شبکه وجود دارند و نه صرفاً در یک منطقه یا خوشه‌ی خاص. این موضوع ضرورت پرداختن به مسائل بنیادین‌تری مانند نبود سازوکارهای مؤثر برای جلب مشارکت، ضعف آموزش، یا عدم انگیزه در بهره‌برداران را برجسته می‌کند؛ مسائلی که بدون اصلاح آن‌ها، حتی در کانال‌های با عملکرد نسبتاً مطلوب نیز نمی‌توان انتظار بهبود پایدار داشت.



شکل ۳. توزیع نمرات شاخص‌های اجتماعی در خوشه‌های عملکرد بالا، متوسط و پایین کانال‌های فرعی لنگرود

تحلیل کیفی مصاحبه‌های ساختاریافته نیز دیدگاه‌های عمیق‌تری از چالش‌های موجود در کانال لنگرود ارائه می‌دهد که نتایج آن در شکل ۴ ارائه شده است. در این شکل، فراوانی تم‌های استخراج‌شده از تحلیل کیفی بر اساس پاسخ‌های دریافت شده شناسایی شده‌اند. محور افقی این نمودار، تم‌های اصلی شامل چالش‌های توزیع آب، مشارکت پایین، چالش‌های مدیریتی، عوامل اقتصادی، نیاز به آموزش

و نارضایتی ذینفعان و محور عمودی، فراوانی هر تم را بر حسب تعداد دفعات ذکر آن‌ها در پاسخ‌ها نشان می‌دهند. بر اساس این شکل، چالش‌های توزیع آب با فراوانی ۸، بیشترین تکرار را در میان پاسخ‌ها دارد که با یافته‌های شکل ۱ و ۳ همخوانی دارد و نشان‌دهنده‌ی مشکل اساسی در توزیع عادلانه‌ی آب، به‌ویژه در کانال‌های پایین‌دست است. همچنین، نارضایتی ذینفعان با فراوانی ۷ و مشارکت پایین با فراوانی ۶ از دیگر تم‌های پرتکرار هستند که با نتایج جدول ۲ (عدم همبستگی شاخص مشارکت با سایر شاخص‌ها) و شکل ۳ (نمرات پایین شاخص مشارکت در تمامی خوشه‌ها) مطابقت دارد. تم‌های چالش‌های مدیریتی و نیاز به آموزش هر کدام با فراوانی ۵، نشان‌دهنده‌ی ضعف در مدیریت و ضرورت آموزش بهره‌برداران و مدیران است. در نهایت، عوامل اقتصادی با فراوانی ۴، کمترین تکرار را دارد، اما همچنان به‌عنوان یک عامل تأثیرگذار شناسایی شده است. این یافته‌ها بر وجود چالش‌های سیستمی و انسانی در شبکه تأکید می‌کنند و نشان می‌دهند که برای بهبود عملکرد اجتماعی، باید به‌طور هم‌زمان به مسائل توزیع آب، افزایش مشارکت و آموزش توجه شود.



شکل ۴. فراوانی تم‌های استخراج‌شده از تحلیل کیفی مصاحبه‌ها در کانال لنگرود

۵. بحث

یافته‌های این پژوهش نشان‌دهنده تنوع قابل‌توجه در عملکرد اجتماعی کانال‌های فرعی منشعب از کانال لنگرود است که تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله موقعیت جغرافیایی، مدیریت منابع آب، و سطح مشارکت بهره‌برداران قرار دارد. نابرابری در توزیع آب بین کانال‌های بالادست و پایین‌دست، که در شاخص مشکلات در دسترسی به آب (شاخص عدالت) مشهود است، با نتایج مطالعه سیدهوشیار و همکاران (Seyed Hoshiyar et al., 2021) در این کانال همخوانی دارد. این محققین با مدلسازی هیدرولیکی کانال با استفاده از مدل SOBEK گزارش کردند که به دلیل ناکارآمدی سازه‌های موجود، کانال‌های فرعی بالادست در کانال لنگرود تا بیش از سه برابر نیاز خود آب دریافت می‌کنند در حالی که کانال‌های پایین دست در برخی مواقع برای تأمین آب نیازمند حفر چاه‌های غیرمجاز هستند. با توجه به نتایج حاصل از بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی برنج در استان‌های شمالی کشور (Hadinia et al., 2017; Hoseini Tabesh & Aghashariatmadari, 2020) و همچنین چالش‌های مرتبط با منابع آبهای زیرزمینی در ایران (Faraji et al., 2017; Jafari & Abbasi, 2025)، این مشکلات ممکن است در آینده نمود بیشتری نیز داشته باشند. در مطالعه سیدهوشیار و همکاران (Seyed Hoshiyar et al., 2021) پیشنهاد شده است که اصلاحات سازه‌ای می‌تواند این مشکل را بهبود بخشد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که برای بهبود عملکرد کانال‌های پایین‌دست لازم است زیرساخت‌های توزیع آب بازنگری شوند و استراتژی‌های مدیریت آب بهبود یابند. همچنین، زهیر و همکاران (Zahir et al., 2024) با استفاده از داده‌های مکانی در یک شبکه‌ی آبیاری در مالزی نشان دادند که عدالت در توزیع آب در زمان‌های مختلف، متفاوت است و به‌ویژه در زمان‌های بحرانی در فصل کشت برنج، بالاترین سطح عدالت مشاهده می‌شود. این موضوع می‌تواند به سیاست‌گذاران کانال لنگرود کمک کند تا با الگوبرداری از استراتژی‌های مدیریت زمانی، توزیع عادلانه‌تر آب را تضمین کنند که این امر می‌تواند به بهبود شاخص اقتصادی کمک کند.

در این تحقیق، شاخص مشارکت بهره‌برداران با وزن ۰/۳۵ مهم‌ترین شاخص در ارزیابی عملکرد کلی یک کانال فرعی شناسایی شد. با این وجود نمرات ضعیف این شاخص در تمامی کانال‌های فرعی نشان‌دهنده چالش‌های عمیق در جلب مشارکت فعال است. این نتیجه با مطالعه سووان‌مانپونگ و همکاران (Suwanmaneepong et al., 2024) همخوانی دارد که نشان دادند تقویت سرمایه‌ی اجتماعی و گروه‌های آبیاری می‌تواند مشارکت را، که نقشی عمده در افزایش کارایی شبکه‌ی آبیاری دارد، بهبود بخشد. در کانال لنگرود، عدم همبستگی شاخص مشارکت با سایر شاخص‌ها ممکن است به ضعف در سازوکارهای نهادسازی یا کمبود اعتماد بین بهره‌برداران و

مدیران مرتبط باشد، موضوعی که در مطالعه امدمو و همکاران (Mdemu et al., 2023) نیز مطرح شده است. آن‌ها نشان دادند که بیان مشکلات بهره‌برداران به صورت موضوعاتی عمومی و شفاف برای جامعه می‌تواند حل این مشکلات را به یک مسئولیت اجتماعی تبدیل کند و حس مالکیت بهره‌برداران را افزایش دهد. علاوه بر این، تبریزی‌دخت‌فرد و همکاران (Tabrizi DokhtFard et al., 2018) در مطالعه‌ی شبکه‌ی آبیاری سد سهند نشان دادند که عواملی مانند انسجام و اعتماد اجتماعی تأثیر قابل‌توجهی بر مشارکت دارند و می‌توانند مشارکت را به شکل معناداری تقویت کنند. این موضوع ضرورت برنامه‌های آموزشی در کانال لنگرود را برجسته می‌کند، همان‌طور که حیدری (Heydari, 2016) نیز بر اهمیت آموزش و حمایت قانونی برای انتقال مدیریت آبیاری تأکید کرده است.

شاخص رضایت کشاورزان و همبستگی قوی آن با شاخص عدالت و شاخص تأثیرات اقتصادی، نشان‌دهنده‌ی نقش محوری عدالت در توزیع آب و بهبود وضعیت اقتصادی بهره‌برداران در بهبود عملکرد کلی شبکه است. این نتیجه با یافته‌های باراتلا و همکاران (Baratella et al., 2023) هم‌راستا است که نشان دادند رضایت ذی‌نفعان با مواردی همچون وجود نهادهای قوی مشارکتی و بالا بودن درک از چالش‌های اجتماعی و زیست‌محیطی مرتبط است. در کانال لنگرود، کانال‌های بالادست، تنها به دلیل توزیع نامناسب آب در کانال و دریافت آب بیشتر از نیاز، نمرات بالایی در شاخص رضایت کسب کردند در حالی که کانال‌های پایین‌دست با چالش‌هایی مواجه بودند. این نابرابری‌ها با یافته‌های داگوستینو و همکاران (D'Agostino et al., 2020) در مالت هم‌خوانی دارد که بر نیاز به شفافیت و تعامل ذی‌نفعان برای بهبود مدیریت آب تأکید کردند. همچنین، مگدال و همکاران (Megdal et al., 2017) نشان دادند که حکمرانی مشارکتی و تعامل ذی‌نفعان می‌تواند به مدیریت پایدار منابع آب کمک کند، راهکاری که می‌تواند برای کانال لنگرود نیز مفید باشد.

شاخص تأثیرات اقتصادی با وزن ۰/۱۵ کم‌اهمیت‌تر از سایر شاخص‌ها در محاسبه‌ی عملکرد کلی کانال‌های فرعی بود اما ارتباط آن با شاخص‌های اجتماعی نشان می‌دهد که بهبود در شاخص‌های رضایت و عدالت می‌تواند به نتایج اقتصادی بهتر منجر شود. این موضوع با مطالعه گبیهو (Gebeyehu, 2025) هم‌خوانی دارد که بر اهمیت تعادل بین ابعاد اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی در مدیریت پایدار آب تأکید کرد و نشان داد اقدامات آموزشی می‌تواند پایداری را تقویت کند، هرچند باید اثرات منفی نیز مدیریت شوند. در کانال لنگرود، ضعف شاخص عدالت در کانال‌های پایین‌دست ممکن است به کمبود سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها و یا کمبود اعتبارات نگهداری شبکه مرتبط باشد، چالشی که یادآور (Yadavar et al., 2017) نیز در شبکه‌ی سد قلعه‌چای به آن اشاره کرده و بر اهمیت زیرساخت‌ها برای مدیریت مؤثر تأکید کرده است.

تحلیل خوشه‌ای نشان داد که کانال‌ها به سه گروه با عملکرد بالا، متوسط، و پایین تقسیم می‌شوند، اما شباهت در الگوهای پراکندگی نمرات در این خوشه‌ها حاکی از وجود چالش‌های فراگیر در کل شبکه است. این شباهت بیانگر آن است که برخی مسائل، مانند ضعف در جلب مشارکت و کمبود آموزش، به صورت سیستمی بر کل شبکه تأثیر می‌گذارند و صرفاً به موقعیت مکانی کانال‌ها وابسته نیستند. این یافته با مطالعه داهال و همکاران (Dahal et al., 2023) همخوانی دارد که از روش دلفی برای تعریف پایداری در مدیریت آب استفاده کردند و در برآورد نهایی میزان پایداری، بر اهمیت مشارکت ذی‌نفعان و اولویت‌های زیست‌محیطی تأکید داشتند. در کانال لنگرود، این چالش‌های سیستمی می‌توانند با اجرای برنامه‌های آموزشی، تقویت سرمایه اجتماعی، و بهبود حکمرانی آب مورد توجه قرار گیرند، راهکارهایی که با پیشنهادهای سووانمانپونگ و همکاران (Suwanmaneepong et al., 2024) و امدمو و همکاران (Mdemu et al., 2023) همراستا است.

به طور کلی یافته‌های این پژوهش، که نشان‌دهنده نابرابری در عملکرد اجتماعی کانال‌های فرعی کانال لنگرود و ضعف شاخص مشارکت در تمامی کانال‌ها است را می‌توان در چارچوب نظریه‌های سرمایه‌ی اجتماعی (Bourdieu, 1986) و حکمرانی آب (Ostrom, 1990) تحلیل کرد. نظریه‌ی سرمایه اجتماعی بر نقش اعتماد، همکاری و شبکه‌های اجتماعی در تقویت پیوندهای جمعی تأکید دارد. در کانال لنگرود، نمرات پایین شاخص مشارکت (میان‌ه‌ی حدود ۲۵) و عدم همبستگی آن با سایر شاخص‌ها (جدول ۲) می‌تواند به کمبود سرمایه اجتماعی، نظیر نبود اعتماد متقابل بین بهره‌برداران و مدیران یا ضعف در شبکه‌های همکاری محلی، نسبت داده شود. فقدان سازوکارهای نهادی برای جلب مشارکت فعال، همان‌طور که در تحلیل کیفی (شکل ۴) با فراوانی بالای تم مشارکت پایین مشاهده شد، ممکن است ریشه در ضعف سرمایه‌ی اجتماعی داشته باشد. این موضوع ضرورت برنامه‌های آموزشی و تقویت تشکلهای محلی را برای افزایش حس مالکیت و همکاری در میان بهره‌برداران برجسته می‌کند. از سوی دیگر، چارچوب حکمرانی آب اوستروم (۱۹۹۰) با تأکید بر اصول مدیریت مشارکتی و نهادسازی محلی، به توضیح نابرابری‌های مشاهده‌شده در شاخص عدالت کمک می‌کند. نابرابری بین کانال‌های بالادست و پایین‌دست که در تحلیل خوشه‌ای (شکل ۳) و نقشه‌ی حرارتی (شکل ۲) مشهود است، می‌تواند نتیجه‌ی نبود قوانین شفاف و عادلانه برای تخصیص آب باشد. اوستروم استدلال می‌کند که نهادهای محلی کارآمد، با ایجاد سازوکارهای تصمیم‌گیری مشارکتی، می‌توانند توزیع عادلانه‌ی منابع را تضمین کنند. در کانال لنگرود، چالش‌های توزیع آب (فراوانی ۸ در تحلیل کیفی) و دریافت بیش از نیاز آب توسط کانال‌های بالادست، نشان‌دهنده ضعف در حکمرانی آب است. همبستگی قوی بین

شاخص عدالت و تأثیرات اقتصادی نیز تأیید می‌کند که بهبود عدالت می‌تواند به نتایج اقتصادی بهتر منجر شود، که با اصول اوستروم در مورد نقش حکمرانی عادلانه در پایداری هم‌راستا است. ادغام این دو چارچوب نظری نشان می‌دهد که ضعف در سرمایه‌ی اجتماعی و حکمرانی آب به‌صورت توأمان، مانع از تحقق پتانسیل کامل کانال لنگرود شده است. برای مثال، نبود اعتماد و همکاری (سرمایه‌ی اجتماعی) می‌تواند مشارکت را تضعیف کند، در حالی که ضعف در نهادسازی محلی (حکمرانی آب) به نابرابری در توزیع آب دامن می‌زند. این تحلیل، پیشنهادات پژوهش مبنی بر تقویت سرمایه‌ی اجتماعی از طریق آموزش و روش پیشنهادی توسط امدو و همکاران (Mdemu et al., 2023) و بهبود زیرساخت‌ها و مدیریت زمانی توزیع آب (Zahir et al., 2024) را از منظر نظری پشتیبانی می‌کند. در نتیجه، یک رویکرد یکپارچه که سرمایه اجتماعی و حکمرانی آب را به‌طور هم‌زمان تقویت کند، می‌تواند به بهبود عملکرد اجتماعی و پایداری این بخش از شبکه‌ی سفیدرود کمک کند.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش با هدف ارزیابی عملکرد اجتماعی کانال‌های فرعی کانال لنگرود واقع در شبکه‌ی آبیاری سفیدرود گیلان انجام شد و نشان داد که تنوع قابل‌توجهی در عملکرد اجتماعی بین کانال‌های بالادست و پایین‌دست وجود دارد. کانال‌های بالادست نمرات بالایی در شاخص‌های رضایت، عدالت و تأثیرات اقتصادی کسب کردند در حالی که کانال‌های پایین‌دست با چالش‌های جدی در این شاخص‌ها مواجه بودند. این نابرابری‌ها نشان‌دهنده‌ی تأثیر عوامل محلی و مدیریتی بر عملکرد اجتماعی شبکه است. شاخص مشارکت بهره‌برداران با وزن ۰/۳۵ به‌عنوان مهم‌ترین شاخص شناسایی شد اما عملکرد ضعیف آن در تمامی کانال‌ها و عدم همبستگی معنادار با سایر شاخص‌ها، بیانگر چالش‌های عمیق در جلب مشارکت فعال است. دلایل احتمالی این عدم همبستگی می‌تواند شامل ضعف در سازوکارهای نهادی برای جلب مشارکت، کمبود اعتماد بین بهره‌برداران و مدیران، یا محدودیت‌های روش‌شناختی در اندازه‌گیری مشارکت باشد. برای مثال، پرسشنامه‌ی مورد استفاده ممکن است نتوانسته باشد ابعاد پیچیده‌ی مشارکت (مانند مشارکت فعال در تصمیم‌گیری در مقابل مشارکت غیرفعال) را به‌طور کامل ثبت کند. این موضوع به‌عنوان یک محدودیت پژوهش شناخته می‌شود و پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، با استفاده از ابزارهای کیفی‌تر یا شاخص‌های چندبعدی‌تر برای مشارکت، دلایل این استقلال بررسی شوند. چنین تحلیل‌هایی می‌توانند به روشن شدن عوامل بازدارنده‌ی مشارکت و طراحی مداخلات مؤثرتر کمک کنند.

تحلیل خوشه‌ای نشان‌دهنده‌ی وجود چالش‌های سیستمی فراگیر در کل کانال لنگرود است و نشان می‌دهد عواملی مشترک، به‌صورت یکنواخت بر تمامی کانال‌ها اثر گذاشته و پراکندگی مشابهی در نمرات ایجاد کرده‌اند. تحلیل کیفی سوالات باز نیز نشان داد که چالش‌های توزیع آب، مشارکت پایین، و نارضایتی ذی‌نفعان از مهم‌ترین مسائل شبکه هستند. به‌طور کلی، این پژوهش بر اهمیت یک رویکرد یکپارچه تأکید دارد که در آن مشارکت، رضایت، و عدالت به‌عنوان پیش‌نیازهای پایداری اقتصادی در نظر گرفته شوند.

در راستای بهبود عملکرد اجتماعی کانال لنگرود، مجموعه‌ای از پیشنهادهای اجرایی قابل ارائه است. نخست، با توجه به ضعف شاخص مشارکت، لازم است سرمایه‌ی اجتماعی و تعامل با بهره‌برداران تقویت شود. اجرای برنامه‌های آموزشی برای کشاورزان می‌تواند حس مالکیت و انگیزه‌ی آن‌ها را برای مشارکت در مدیریت شبکه افزایش دهد. استفاده از روش‌های مشارکتی مانند عمومی‌سازی چالش‌هایی که تنها در میان ذی‌نفعان شایسته شده‌اند، همان‌طور که در مطالعه‌ی امدمو و همکاران (Mdemu et al., 2023) پیشنهاد شده است، می‌تواند ابزار مؤثری برای شناسایی و حل مسائل محلی باشد. دوم، با توجه به نابرابری مشهود در توزیع آب بین کانال‌های بالا و پایین‌دست، بازنگری در زیرساخت‌های توزیع آب و اجرای اصلاحات سازه‌ای ضروری است، راهبردی که سیدوهشیار و همکاران (Seyed Hoshiyar et al., 2021) نیز بر آن تأکید کرده‌اند. همچنین، الگوبرداری از مدل‌های موفق مدیریت زمانی توزیع آب، مانند آنچه در پژوهش زهیر و همکاران (Zahir et al., 2024) گزارش شده است، می‌تواند به بهبود عدالت توزیعی کمک کند. سوم، پیشنهاد می‌شود دوره‌های آموزشی منظم برای مدیران و بهره‌برداران برگزار شود تا دانش فنی و مدیریتی آن‌ها در زمینه منابع آب ارتقا یابد، موضوعی که در پژوهش گبیهو (Gebeyehu, 2025) نیز بر اهمیت آن تأکید شده است. چهارم، تقویت حکمرانی مشارکتی از طریق افزایش تعامل میان بهره‌برداران، مدیران و سیاست‌گذاران و ایجاد سازوکارهای تصمیم‌گیری شفاف و مشارکتی می‌تواند مسیر اصلاحات مدیریتی را هموارتر کند، همان‌گونه که در مطالعات داگوستینو و همکاران (D'Agostino et al., 2020) و مگدال و همکاران (Megdal et al., 2017) به‌خوبی تشریح شده است. در نهایت، استفاده از فناوری‌های نوین مانند سنجش از دور و داده‌های مکانی، همان‌طور که در مطالعه زهیر و همکاران (Zahir et al., 2024) نیز مطرح شده، است می‌تواند زمینه‌ساز پایش مستمر و ارتقاء مدیریت علمی در کانال لنگرود باشد. با به‌کارگیری هم‌زمان این راهبردها، می‌توان انتظار داشت که عملکرد اجتماعی کانال به‌گونه‌ای بهبود یابد که زمینه‌ساز تحقق اهداف عدالت، کارایی و پایداری در مدیریت منابع آب منطقه شود.

قدردانی

بدین وسیله مراتب قدردانی خود از بهره‌برداران کانال لنگرود برای مشارکتشان در تکمیل پرسش‌نامه‌ها را اعلام کرده و از ارگان‌های استانی نیز برای فراهم کردن دسترسی به داده‌های مورد استفاده در این مطالعه سپاسگزاریم.

منابع

- Baratella, V., Pirelli, T., Giordano, R., Pagano, A., Portoghese, I., Bea, M., López-Moya, E., Di Fonzo, A., Fabiani, S., & Vanino, S. (2023). Stakeholders analysis and engagement to address Water-Ecosystem-Food Nexus challenges in Mediterranean environments: a case study in Italy. *Italian Journal of Agronomy*, 18(4), 2200. <https://doi.org/https://doi.org/10.4081/ija.2023.2200>
- D'Agostino, D., Borg, M., Hallett, S. H., Sakrabani, R. S., Thompson, A., Papadimitriou, L., & Knox, J. W. (2020). Multi-stakeholder analysis to improve agricultural water management policy and practice in Malta. *Agricultural Water Management*, 229, 105920. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105920>
- Dahal, B., Avellán, T., Haghighi, A. T., & Kløve, B. (2023). Defining sustainability in agricultural water management using a Delphi survey technique. *Water Policy*, 25(6), 597–621. <https://doi.org/10.2166/wp.2023.057>
- Faraji, Z., Kaviani, A., & Ashrafzadeh, A. (2017). Assessment of GRACE satellite data for estimating the groundwater level changes in Qazvin province. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 4(2), 463–476. <https://doi.org/10.22059/ije.2017.61482>
- Garcia-Espinal, M. A., Sanchez-Romero, F.-J., Perez-Sanchez, M., & Lopez-Jimenez, P. A. (2024). Enhancing sustainability in irrigation networks: A multicriteria method for optimizing flow distribution and reducing environmental impact. *Results in Engineering*, 23, 102609. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102609>
- Gebeyehu, A. B. (2025). Sustainability analysis of water management, with emphasis on Environmental Management Plan (EMP) in Koga Irrigation Scheme, Ethiopia. *Environmental and Sustainability Indicators*, 26, 100667. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100667>
- Gholami, M., Mortezaipoor, M. R., & Shahpourian, M. M. (2017). Conflict Resolution of Sefidrud Irrigation and Drainage Network With Games Theory. *Iran-Water Resources Research*, 13(3), 101–111. https://www.iwrr.ir/article_45093.html
- Gorantiwar, S. D., & Smout, I. K. (2005). Performance assessment of irrigation water management of heterogeneous irrigation schemes: 1. A framework for evaluation. *Irrigation and Drainage Systems*, 19(1), 1–36. <https://doi.org/10.1007/s10795-005-2970-9>
- Hadinia, H., Pirmoradian, N., & Ashrafzadeh, A. (2017). Effect of changing climate on rice water requirement in guilan, north of Iran. *Journal of Water and Climate Change*, 8(1). <https://doi.org/10.2166/wcc.2016.025>
- Hashemi, S.-Z., Darzi-Naftchali, A., Karandish, F., Ritzema, H., & Solaimani, K. (2024). Enhancing agricultural sustainability with water and crop management strategies in modern irrigation and drainage networks. *Agricultural Water Management*, 305, 109110. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109110>
- Hatam, A., Monem, M. J., & Bagheri, A. (2013). System Dynamics Model Development for Irrigation Network Rehabilitation, Considering Farmers Participation and Personnel Promotion. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 13(4), 1–24. <https://doi.org/10.22048/rdsj.2017.22401.1289>
- Heydari, N. (2016). Challenges and Measures on Participatory Irrigation Management and Irrigation Management Transfer in the Four Irrigation Networks. *Water Management in Agriculture*, 2(2), 11–22.

https://wmaj.iaid.ir/article_87115.html

- Hoseini Tabesh, S., & Aghashariatmadari, Z. (2020). The Effect of Climate Change on Rice Irrigation Requirement under RCP Scenarios (Case Study: Anzali). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(10), 2607–2621. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.299363.668547>
- Hossieni RashtAbadi, M., Kavooosi-Kalashami, M., & Khaledian, M. (2025). Investigating the Drivers of the Resilience Against Water Scarcity among Sefidroud Irrigation and Drainage Network Beneficiaries Using a Sustainable Livelihood Strategy. *Iran-Water Resources Research*, 20(4), 88–109. <https://doi.org/10.22034/iwrr.2025.494479.2813>
- Jafari, H., & Abbasi, F. (2025). Evaluation of wheat water irrigation management in Iran with the approach of reducing the area under cultivation and improving water productivity. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55(12), 2333–2349. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.380800.669778>
- Lotfi, S., Menhaj, M., Kavooosi-Kalashami, M., & Khaledian, M. (2024). Analysis of obstacles and problems of agricultural water management in paddy fields of Sefidroud irrigation and drainage network. *Water Management in Agriculture*, 11(1), 29–46. https://wmaj.iaid.ir/article_181602.html
- Mateos, L., dos Santos Almeida, A. C., Frizzzone, J. A., & Lima, S. C. R. V. (2018). Performance assessment of smallholder irrigation based on an energy-water-yield nexus approach. *Agricultural Water Management*, 206, 176–186. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.05.012>
- Mdemu, M. V., Kimaro, E. G., Tafula, M., de Sousa, W., Moyo, M., Parry, K., Bjornlund, H., Mukwakwami, N., & Ramshaw, P. (2023). Participatory mapping of irrigation schemes in Tanzania, Mozambique and Zimbabwe and their value for multi-level learning. *Agricultural Water Management*, 290, 108591. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108591>
- Megdal, S. B., Eden, S., & Shamir, E. (2017). Water Governance, Stakeholder Engagement, and Sustainable Water Resources Management. In *Water* (Vol. 9, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/w9030190>
- Meinzen-Dick, R., Janssen, M. A., Kandikuppa, S., Chaturvedi, R., Rao, K., & Theis, S. (2018). Playing games to save water: Collective action games for groundwater management in Andhra Pradesh, India. *World Development*, 107, 40–53. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.02.006>
- Molden, B. D. J., Gates, T. K., & Members, A. (1991). *Performance measures for evaluation of irrigation - water - delivery systems*. 116(6), 804–823.
- Moradinejad, A. (2019). Investigating the Participation of Beneficiaries in Optimizing Water Use Management (Case Study: Qazvin Plain Irrigation Networks). *Journal of Water and Sustainable Development*, 6(1), 85–94. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v6i1.70039>
- Najafi, B., & Shirvanian, A. (2018). Obstacles to Water User Participation in Managing Irrigation and Drainage Systems of Doroudzan Area in Iran. *Village and Development*, 9(3), 53–72. http://rvt.agri-peri.ac.ir/article_59328.html
- Rahmati, S., & Monem, M. J. (2022). Application of MASSCOTE approach to evaluate and improve the performance of Gotvand irrigation and drainage network. *Water and Irrigation Management*, 11(4), 845–866. <https://doi.org/10.22059/jwim.2022.331246.928>
- Seyed Hoshiyar, S. M., Pirmoradian, N., Ashrafzadeh, A., & Parvaresh Rizi, A. (2021). Performance Assessment of a Water Delivery Canal to Improve Agricultural Water Distribution. *Water Resources Management*, 35(8), 2487–2501. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02843-1>
- Shafiee, B., & Shahrokhnia, M. A. (2019). Evaluation of water delivery performance indicators at end of left bank canal in Doroodzan irrigation system. *Water Resources Engineering*, 11(39), 73–86. https://wej.marvdasht.iau.ir/article_3329.html
- Smout, I. K., & Gorantiwar, S. D. (2005). Performance assessment of irrigation water management of heterogeneous irrigation schemes: 2. A case study. *Irrigation and Drainage Systems*, 19(1), 37–60.

<https://doi.org/10.1007/s10795-005-2971-8>

- Suwanmaneepong, S., Llonas, C., Mankeb, P., & Wongtragoon, U. (2024). Participatory irrigation management, social capital, and efficiency in rice production. Understanding the linkage in the case of irrigated rice farms in Northern Thailand. *Heliyon*, 10(11), e32301. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32301>
- Tabrizi DokhtFard, E., Shams, A., & Hooshmandan Moghaddam Fard, Z. (2018). Individual, Social, and Communication Factors which Affect Farmers' Participation in Irrigation Network Management in Sahand Dam, Iran. *Journal of Water and Sustainable Development*, 4(2), 131–138. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v4i2.57393>
- Tran, D. D., van Halsema, G., Hellegers, P. J. G. J., Ludwig, F., & Seijger, C. (2018). Stakeholders' assessment of dike-protected and flood-based alternatives from a sustainable livelihood perspective in An Giang Province, Mekong Delta, Vietnam. *Agricultural Water Management*, 206, 187–199. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.04.039>
- Uysal, Ö. K., & Atış, E. (2010). Assessing the performance of participatory irrigation management over time: A case study from Turkey. *Agricultural Water Management*, 97(7), 1017–1025. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.02.007>
- Yadavar, H., Kohstani, H., & Kharrazi, S. (2017). Introducing Applied Solutions for Farmers' Participation in Irrigation Management Transfer (Case Study: Ghale-Chay Irrigation and Drainage Network). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 48(2), 355–368. <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2017.62752>
- Zahir, A. M., Somura, H., & Moroizumi, T. (2024). Regional-scale evaluation of tertiary irrigation system in Muda Irrigation Scheme from space. *Agricultural Water Management*, 306, 109175. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109175>

Multidimensional Analysis of the Social Performance of a Segment of the Sefidroud Irrigation Scheme in Guilan Province

Introduction

In the face of global climate crises and diminishing water resources, evaluating the performance of irrigation schemes has become critical for ensuring agricultural productivity, food security, and social-environmental sustainability (Garcia-Espinal et al., 2024; Hashemi et al., 2024). Beyond technical metrics, assessing social dimensions such as stakeholder participation, equitable water distribution, and satisfaction is essential for sustainable water management (Rahmati & Monem, 2022). The Sefidroud Irrigation Scheme, one of Iran's largest, supports over 180,000 hectares of paddy fields in Guilan Province, yet faces challenges like infrastructure degradation, inequitable water allocation, and limited stakeholder engagement (Seyed Hoshiyar et al., 2021). While prior studies have focused on technical and hydraulic performance, the social performance of this scheme, particularly from the perspective of farmers, remains underexplored. This study aims to address this gap by evaluating the social performance of the Langarud canal and its 10 subsidiary canals using a multidimensional approach, integrating quantitative and qualitative methods to inform sustainable irrigation management.

Method

This research employed a mixed-methods approach to assess the social performance of the Langarud canal, located in the D2 subunit of the Sefidroud Irrigation Scheme, which supplies water to 5,514 hectares of rice fields through 10 subsidiary canals. Data were collected from 120 farmers (out of a calculated sample of 365, due to logistical constraints, resulting in an 8.95% margin of error) using stratified sampling to ensure representation across upstream, midstream, and downstream regions, farm sizes, and participation levels. A structured questionnaire, based on FAO (1999) frameworks, measured four key indicators: Farmer Satisfaction Index (FSI), Water Access Difficulty Index (WADI), Economic Impact Index (EII), and Farmer Participation Index (FPI), using a five-point Likert scale. The questionnaire's validity was confirmed by water engineering experts and local farmers, with a Cronbach's alpha of 0.87 indicating high reliability. Weights for the indicators (FSI: 0.25, WADI: 0.25, EII: 0.15, FPI: 0.35) were determined via the Delphi method. Additionally, semi-structured interviews with 15 farmers and 5 local managers were conducted to explore barriers to participation and water access. Qualitative data were analyzed using content analysis.

with open and axial coding in Python (using pandas and NLTK libraries), with themes validated by two independent researchers. Quantitative data were processed in Python (pandas, numpy, scipy) using descriptive statistics, one-way ANOVA, Pearson correlation, and K-Means clustering to categorize canals into high, moderate, and low performance groups. Ethical considerations included obtaining informed consent and ensuring respondent anonymity.

Results

The analysis revealed significant disparities in social performance across the 10 subsidiary canals (BP14, S15, S16, S17, SP18, S20, SP22G, SP22D, SP23, BP25). Upstream canals (BP14, S15, S16, S17) consistently scored above 65 on FSI, WADI, and EII, indicating robust satisfaction, equitable water access, and economic outcomes, likely due to sufficient water availability. In contrast, downstream canals (SP22G, SP22D, SP23, BP25) scored poorly (median: 18–30), reflecting systemic inequities (Table 1, Figures 1–2). K-Means clustering classified canals into high, moderate (SP18, S20), and low-performance groups, with downstream canals requiring urgent interventions (Figure 3). Notably, FPI performed poorly across all clusters (median ≈ 25) and showed no significant correlation with other indicators ($r \approx 0$, Table 2), despite its high weight (0.35), suggesting deep-rooted institutional barriers to participation. Qualitative findings identified water distribution challenges (frequency = 8), stakeholder dissatisfaction (frequency = 7), and low participation (frequency = 6) as dominant issues (Figure 4). A strong correlation between WADI and EII ($r = 0.74$) highlighted the critical role of equitable water access in driving economic benefits. ANOVA confirmed significant differences in FSI, WADI, and EII across canals ($p < 0.01$), but not in FPI ($p = 0.47$), indicating uniform participation challenges. Similar dispersion patterns in indicator scores across clusters suggest pervasive systemic issues, such as inadequate training and weak incentives, affecting the entire scheme.

Conclusions

This study underscores significant social performance disparities between upstream and downstream canals in the Langarud segment of the Sefidroud Irrigation Scheme, driven by inequitable water distribution and weak participation mechanisms. The poor performance of FPI, despite its high importance, and its lack of correlation with other indicators highlight a critical gap in institutional frameworks and trust between farmers and managers. Drawing on social capital (Bourdieu, 1986) and water governance theories (Ostrom, 1990), the findings suggest that low social capital and ineffective local institutions exacerbate participation and equity challenges. To enhance social performance, we

recommend: (1) strengthening social capital through participatory training programs to foster farmer engagement; (2) revising water distribution infrastructure to address downstream inequities, as supported by Seyed Hoshiyar et al. (2021); (3) adopting time-based water allocation strategies, as demonstrated by Zahir et al. (2024); (4) implementing regular training for farmers and managers to enhance technical and managerial capacities (Gebeyehu, 2025); and (5) promoting participatory governance through transparent decision-making and stakeholder collaboration (D'Agostino et al., 2020; Megdal et al., 2017). An integrated approach prioritizing participation, equity, and satisfaction is essential for sustainable irrigation management. Future research should employ more nuanced participation metrics and larger samples to further explore these dynamics.

Author Contributions

Conceptualization, methodology, and data collection were collaboratively designed and executed by all authors. Quantitative and qualitative analysis was conducted by Afshin Ashrafzadeh and validated by Jaber Salepour Laghani and Morteza Lotfiran. Morteza Lotfiran led the literature review and theoretical framing. All authors contributed to writing, reviewing, and editing the manuscript, ensuring a cohesive final submission.

Data Availability Statement

The datasets generated and analyzed in this study, including questionnaire responses and interview transcripts, are available upon reasonable request from the corresponding author, subject to ethical and privacy considerations. The Python scripts used for data analysis are also available for academic purposes upon request.

Acknowledgements

We express our sincere gratitude to the farmers of the Langarud canal for their participation in completing the questionnaires and to the provincial authorities for facilitating access to the data used in this study. We also thank the water engineering experts and local stakeholders for their valuable insights during the validation of the research instruments.