

## ارزیابی بهره‌برداری از واحدهای عمرانی شبکه آبیاری دشت فومنات براساس فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

مریم شادپور رشتی<sup>۱\*</sup>، نادر پیرمادیان<sup>۲</sup>، احسان قانع<sup>۳</sup> و فاطمه باقری<sup>۴</sup>

### چکیده

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. برای ارزیابی شرایط بهره‌برداری از واحدهای عمرانی شبکه آبیاری دشت فومنات از تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد. در این راستا، چهار عامل مؤثر در بهره‌برداری از شبکه آبیاری، شامل نوع سازه‌های تنظیم و توزیع آب، وضعیت تخصیص آب، نحوه توزیع آب در شبکه و تبعیت از الگوی کشت در نظر گرفته شد. برای تعیین وزن معیارها و گزینه‌ها، پرسش‌نامه‌هایی بر مبنای مقایسه‌های زوجی تهیه گردید و از کارشناسان خبره شرکت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری استان گیلان برای تکمیل پرسش‌نامه‌ها استفاده شد. پس از جمع‌آوری اطلاعات لازم، با استفاده از نرم‌افزار EC (Expert Choice) اقدام به تعیین وزن معیارها و گزینه‌های واحدهای عمرانی شد. نتایج نشان داد که در مسائل بهره‌برداری از واحدهای عمرانی مورد مطالعه، تأثیرگذارترین معیار «نوع سازه‌های تنظیم و توزیع آب» با وزن نهایی ۰/۵۱۲ است. بنابراین، مؤثرترین شیوه برای ارتقای بهره‌برداری از این واحدها تمرکز بر معیار مذکور است. بر اساس وزن نهایی واحد عمرانی، واحد F<sub>1</sub> بهترین وضعیت را از نظر بهره‌برداری داشته و واحدهای عمرانی F<sub>2</sub>، F<sub>3</sub> و F<sub>4</sub> به ترتیب در رده‌های بعدی قرار دارند. همچنین، نرخ ناسازگاری مدل ۰/۰۷ بود که بیانگر قابل قبول بودن قضاوت افراد با قضاوت گروهی است.

**واژه‌های کلیدی:** تصمیم‌گیری چندمعیاره، آبیاری، زهکشی، گیلان، Expert Choice.

**ارجاع:** شادپور رشتی م. پیرمادیان ن. قانع ا. و باقری ف. ۱۳۹۷. ارزیابی بهره‌برداری از واحدهای عمرانی شبکه آبیاری دشت فومنات براساس فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP). مجله پژوهش آب ایران. ۳۰: ۹-۱۷.

۱- دانش‌آموخته کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.

۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.

\* نویسنده مسؤل: [shadpurrashti@yahoo.com](mailto:shadpurrashti@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۲۹

## مقدمه

بهره‌برداری صحیح و اصولی از شبکه‌های آبیاری، مهم‌ترین و اصلی‌ترین هدف احداث و توسعه شبکه‌های مدرن آبیاری است. بی‌توجهی به مسائل بهره‌برداری و نگهداری از تأسیسات و تجهیزات آبیاری در مراحل طراحی و اجرا از دلایل عمده ناکارآمدی مرحله بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های آبیاری است (توانا و هوشمند، ۱۳۸۹). در این راستا، بهره‌برداری کانال‌ها با حداکثر ظرفیت، زمینه‌ساز استهلاک زود هنگام تأسیسات آبی شده است. قابل ذکر است که توزیع آب با حداکثر ظرفیت به روش غیرحجمی انجام می‌شود که با این روش، مصرف آب بی‌رویه و غیرمتعارف است و با شرایط طراحی تطبیق ندارد. در نهایت، بهره‌برداری با روش توزیع غیرحجمی و حداکثر ظرفیت سبب می‌شود که عملکرد سازه‌ها در بهره‌برداری از شبکه‌ها تأثیر لازم را نداشته باشد. همچنین، الگوی کشت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای طراحی شبکه‌های آبیاری مطرح است که در شرایط بهره‌برداری، ارتباط مستقیمی با بهره‌وری آب در سطح سامانه‌ها دارد (غفاری و همکاران، ۱۳۸۹). قابل ذکر است که میزان آب مورد نیاز محصولات در مراحل مختلف رشد با توجه به الگوی کشت تعیین می‌شود و در وضعیت تخصیص آب نقش دارد. با توجه به این مسائل و موضوع‌ها، «نحوه توزیع آب در شبکه»، «وضعیت تخصیص آب»، «نوع سازه‌های تنظیم و توزیع آب» و «تبعیت از الگوی کشت» از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی بهره‌برداری آب در شبکه آبیاری و زهکشی محسوب می‌شوند. برای دستیابی به بهره‌برداری صحیح و اصولی از شبکه‌های آبیاری باید عوامل تأثیرگذار را اولویت‌بندی کرد و تصمیم‌گیری بر اساس تحلیل همه معیارها انجام شود. یکی از روش‌های مناسب برای تصمیم‌گیری با شرایط ذکرشده، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است که یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه در حالت گسسته و بر پایه خردجمعی با استفاده از گروه‌های تصمیم‌ساز می‌باشد که در سال ۱۹۹۴ توسط ساعتی (۱۹۹۴) توسعه یافت. قابل ذکر است که مدل سلسله‌مراتبی معایب روش امتیازبندی را ندارد (قدسی‌پور، ۱۳۹۱). منتظر و زادبائر (۲۰۱۰) با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی ارزیابی بهره‌وری آب شبکه‌های آبیاری را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج کار این محققین، بیانگر کارایی مناسب این شیوه تحلیلی در برنامه‌ریزی‌ها و

بهینه‌سازی‌های مربوط به شبکه‌های آبیاری بود. به دلیل وضعیت خاص بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری استان گیلان که در مواردی با توجه به فرسودگی سازه‌های کنترل و اندازه‌گیری آب و نیز به دلیل نبود نظارت بر کالیبراسیون و وجود درصد خطای غیرقابل قبول و همچنین در مواردی به دلیل نبود همکاری آب سوارها و کشاورزان در بهره‌برداری از تأسیسات آبرسانی، امکان برآورد کمی معیارهایی نظیر وضعیت تخصیص آب و ارزیابی نحوه توزیع آب در شبکه با مشکل مواجه می‌شود. بر این اساس، مقادیر کمی ثبت شده در فرم‌ها و مدارک تهیه‌شده طبق سیستم مدیریت کیفیت (ایزو) با توجه به قدیمی بودن (چرا که با تغییر مدیریت‌ها سیستم مدیریت کیفیت منسوخ شده) نیاز به اصلاح و تکمیل دارند. بنابراین، اسناد قابل ارجاع برای دستیابی به مقادیر کمی شاخص‌های ارزیابی شبکه‌های آبیاری و زهکشی استان گیلان همیشه همراه با عدم قطعیت است. از این‌رو، شایسته است که سیستم تصمیم‌گیری مکمل یا جایگزین در شرایط نبود اعداد و ارقام صحیح برای معیارهای کمی برای ارزیابی وضعیت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی به مدیران ارائه شود. ابزار تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی و به‌کارگیری این مدل تصمیم‌گیری که قابلیت فرموله کردن معیارهای کمی را نیز دارد، راهکاری برای این مهم خواهد بود که در بسیاری از کشورها تاکنون برای الویت‌بندی معیارها و برنامه‌ریزی مورد استفاده قرار گرفته است و امروزه، نیاز است که در برنامه‌ریزی صنعت آب کشور نیز بیشتر توسعه یابد. هدف از این تحقیق، ارزیابی شرایط بهره‌برداری از واحدهای عمرانی شبکه آبیاری دشت فومنات با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی برای معرفی و ارائه این مدل تصمیم‌گیری به‌عنوان ابزاری نوین و کاربردی است.

## مواد و روش‌ها

شبکه آبیاری فومنات، بخشی از شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود گیلان، واقع در ساحل چپ رودخانه سفیدرود است. این ناحیه در حد فاصل رودخانه‌های پسیخان و شفارود واقع شده است که از شمال به تالاب انزلی و دریای خزر و از جنوب به کانال اصلی فومنات محدود می‌شود (شکل ۱). این ناحیه عمرانی تحت پوشش سیستم آبیاری با کنترل از بالادست متشکل از سد انحرافی تاریک در ۳۵ کیلومتری پایاب سد سفیدرود بر روی رودخانه سفیدرود،

(هدف) قابل مقایسه بوده و بر اساس نظر قدسی‌پور (۱۳۹۱) مبنی بر اینکه در صورتی که عناصر یک سطح را با عناصر سطوح بالاتر نتوان مقایسه کرد این سؤال پیش می‌آید که این عنصر با چه چیزی قابل مقایسه می‌باشد که در این حالت ممکن است یک سطح دیگر به سلسله‌مراتبی اضافه شود و ساختار سلسله‌مراتبی به سه سطح محدود شود. گزینه‌های مورد مطالعه واحدهای عمرانی F1 و F2 و F3 و F4 واقع در دشت فومنات بودند. با استفاده از معیارها و گزینه‌ها، ساختار سلسله‌مراتبی در سه سطح مطابق با شکل ۲ ساخته شد.

جدول ۲- شاخص‌های مورد استفاده در این مطالعه برای ارزیابی بهره‌برداری از شبکه آبیاری و زهکشی

شاخص	تعریف
نسبت شدت جریان واقعی به شدت جریان طراحی	نسبت شدت جریان واقعی به شدت
نسبت تعداد وسایل اندازه‌گیری نصب‌شده به کل وسایل اندازه‌گیری	نسبت تعداد وسایل اندازه‌گیری
نسبت آب تأمین شده به آب مورد نیاز آبیاری	نسبت آب تأمین شده به آب مورد نیاز آبیاری
نسبت آب تحویل شده به مزرعه به آب مورد نیاز آبیاری	نسبت آب تحویل شده به مزرعه به آب مورد نیاز آبیاری
نسبت حجم آب تحویل شده برای آبیاری به حجم آب تحویل گرفته از منبع مؤثر بدون سازه‌ها (نسبت تعداد سازه‌های فعال به تعداد کل سازه‌های موجود)	نسبت حجم آب تحویل شده برای آبیاری به حجم آب تحویل گرفته از منبع مؤثر بدون سازه‌ها (نسبت تعداد سازه‌های فعال به تعداد کل سازه‌های موجود)
نسبت میزان محصول واقعی به میزان محصول در طراحی	نسبت میزان محصول واقعی به میزان محصول در طراحی
وضعیت تخصیص آب	وضعیت تخصیص آب
نوع سازه‌های تنظیم و توزیع آب	نوع سازه‌های تنظیم و توزیع آب
تبعیت از الگوی کشت	تبعیت از الگوی کشت

گردآوری داده‌ها شامل مراحل زیر می‌باشد:

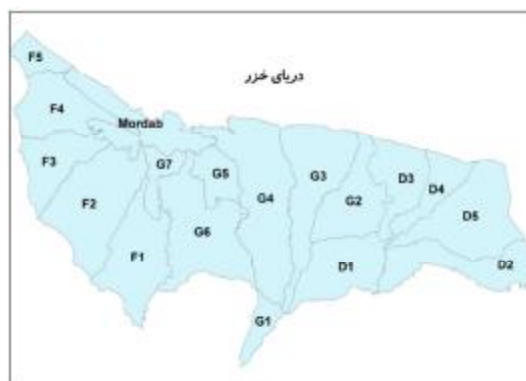
۱- طراحی پرسش‌نامه گردآوری داده‌ها؛

۲- تعیین جامعه حجم نمونه؛ و

۳- طراحی جداول مقایسه‌های زوجی.

پرسش‌نامه‌هایی برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز تحقیق براساس ساختار سلسله‌مراتبی طراحی شد. سؤالات با توجه به تعداد عناصر (تعداد معیارها و گزینه‌ها) و قضاوت‌های مورد نیاز متناظر با آنها بر مبنای مقایسه‌های زوجی (مقایسه اهمیت، برتری یا درست‌نمایی دو عنصر نسبت به عنصر سطح بالاتر) و به صورت گزینه‌ای طراحی شدند. گزینه‌هایی که با توجه به آنها پرسش‌شوندگان در مورد سؤال‌ها اظهارنظر کردند، همان درجه‌های اهمیت موجود

تونل آبرسان فومن به طول ۱۷ کیلومتر و کانال اصلی فومن به طول ۷۰ کیلومتر با دبی حداکثر ۳۵ مترمکعب در ثانیه است. مساحت اراضی تحت پوشش واحدهای عمرانی مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱- واحدهای عمرانی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود گیلان

جدول ۱- مساحت اراضی تحت پوشش واحدهای عمرانی شبکه آبیاری فومنات

واحد عمرانی	مساحت اراضی شالیزار (هکتار)	طول کانال‌های درجه یک و دو (کیلومتر)	سطح اراضی شالیزار (هکتار)
F <sub>۱</sub>	۲۱۵۸۷	۳۱۸	۱۶۴۶۸
F <sub>۲</sub>	۲۸۰۰۰	۳۹۱	۱۹۶۸۴
F <sub>۳</sub>	۱۳۶۴۰		۹۲۰۸
F <sub>۴</sub>	۱۵۹۵۲		۸۲۰۰

### تعیین شاخص‌ها

معیارهای ارزیابی تأثیرگذار در بهره‌برداری از شبکه آبیاری مطابق جدول ۲، عبارت‌اند از: چهار عامل «نوع سازه‌های تنظیم و توزیع آب»، «وضعیت تخصیص آب»، «نحوه توزیع آب در شبکه» و «تبعیت از الگوی کشت». معیارها با استفاده از نظرهای کارشناسان مجرب شرکت بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری استان گیلان، اعم از مدیران ارشد و میانی و کارشناسانی که درگیر فعالیت‌های اجرایی در زمینه هدف مورد مطالعه بودند، مطالعه دستورالعمل‌های مختلف و مصاحبه با کشاورزان، انتخاب شد. قابل ذکر است که کلیه معیارهایی که به‌عنوان عوامل تأثیرگذار در بهره‌برداری از شبکه آبیاری تشخیص داده شد، با عنصر سطح بالاتر

$$A_{ij} = \left[ \prod_{k=1}^n a_{ij}^{(k)} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

که در آن،  $A_{ij}$  میانگین هندسی معیار  $a_{ij}$ ، زیر معیاری که با گزینه‌ها مقایسه می‌شود،  $ij$  نام دو جایگزین که با یکدیگر مورد مقایسه قرار می‌گیرند،  $k$  کد شخصی که از وی پرسش شده است،  $n$  تعدادی افرادی که در خصوص یک زیرمعیار از آنها پرسش شده است.

ماتریس مقایسه‌های زوجی ممکن است سازگار یا ناسازگار باشد؛ در صورتی که ماتریس سازگار باشد، از نرمال‌سازی ماتریس مقایسه‌های زوجی در تحلیل سلسله‌مراتبی به روش بی‌مقیاس کردن خطی برای محاسبه وزن استفاده می‌شود.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad j = 1, \dots, m \quad (3)$$

که در آن،  $r_{ij}$  مؤلفه ماتریس نرمال شده است. در ماتریس‌های ناسازگار، محاسبه وزن یا اولویت نهایی معیارها، زیرمعیارها و شاخص‌ها از اصل ترکیب سلسله‌مراتبی ساعتی (۱۹۹۴) که منجر به یک بردار اولویت یا در نظر گرفتن همه قضاوت‌ها در تمامی سطوح سلسله‌مراتبی می‌شود، طبق رابطه (۴) انجام می‌شود:

$$GP_i = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m W_k W_i \quad (4)$$

که در آن،  $GP_i$  وزن نهایی معیار،  $W_k$  وزن یا اولویت نسبی زیرمعیار،  $W_i$  وزن یا اولویت نسبی شاخص  $i$  می‌باشد. شاخص ناسازگاری به صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود:

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (5)$$

که در آن،  $n$ ، بیانگر ابعاد ماتریس و  $\lambda$ ، متوسط بردار سازگاری است؛ نرخ سازگاری  $CR = \frac{CI}{RI}$  بوده که  $RI$  شاخص تصادفی است که توسط ساعتی (۱۹۹۴) متناسب با ابعاد ماتریس به صورت جدول ۴ تهیه شده است.

با توجه به اینکه محاسبه داده‌های پروژه، عملیاتی بسیار طولانی و پیچیده می‌باشد، از نرم‌افزار EC برای تعیین وزن معیارها و واحدهای عمرانی استفاده شد.

در سیستم استاندارد نمره‌دهی ساعتی (۱۹۹۴) بود که برای تعیین وزن گزینه‌ها و معیارها مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به فرایند مقایسه زوجی از پایین‌ترین سطح سلسله‌مراتبی به سمت بالا، ساختار پرسش‌نامه دارای ساختار یک ماتریس می‌باشد. به طور کلی، ماتریس‌های زوجی که پرسش‌نامه بر اساس آن تعریف و طراحی شده‌است، به صورت رابطه (۱) نوشته می‌شود.

$$A = \begin{pmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{pmatrix} \quad (1)$$

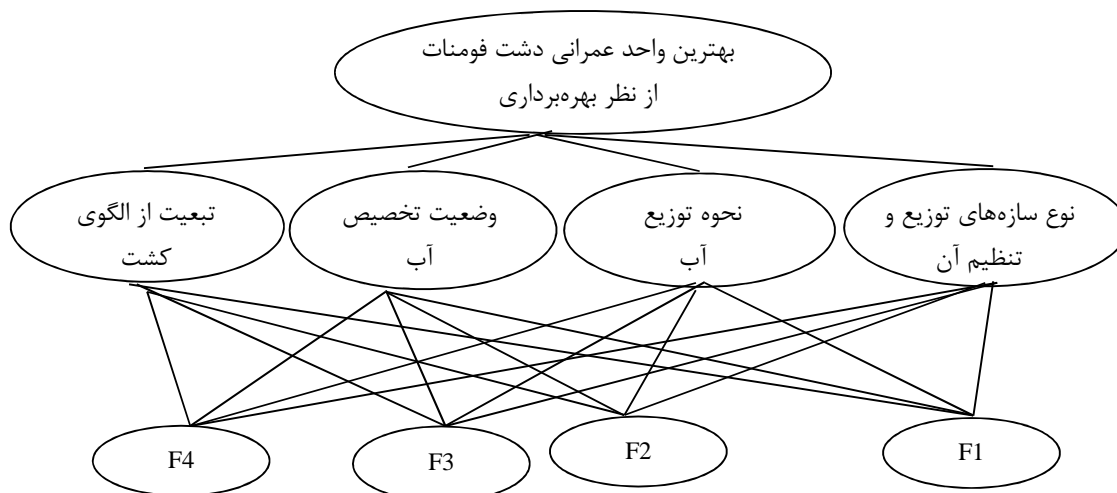
$$= \begin{pmatrix} 1 & \frac{w_1}{w_2} & \dots & 3 \\ \frac{w_2}{w_1} & 1 & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/3 & \frac{w_n}{w_2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

قابل ذکر است که تعداد سؤالات موجود در پرسش‌نامه همان تعداد قضاوت‌هاست که اعضای ماتریس مقایسه زوجی را فراهم می‌کند. به طور کلی، با داشتن  $n$  عنصر، تعداد  $\frac{n(n-1)}{2}$  قضاوت مورد نیاز است.

پس از تهیه پرسش‌نامه‌ها، تعداد ۱۵ نفر از کارشناسان خبره شرکت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری استان گیلان پاسخ‌گوی پرسش‌نامه‌ها شدند. با بررسی پرسش‌نامه‌ها و امتیازدهی عددی طبق جدول ۳ بر اساس جدول استاندارد ساعتی (۱۹۹۴) به پاسخ‌های داده‌شده، جدول‌های مقایسه زوجی افراد شامل مؤلفه‌ها تشکیل شد.

محاسبه داده‌ها شامل مراحل زیر می‌باشد:

با توجه به اینکه تعداد پرسش‌شونده‌ها بیش از یک نفر می‌باشد، ماتریس‌های مقایسه زوجی افراد با محاسبه میانگین هندسی مؤلفه‌ها به ماتریس قضاوت گروهی تبدیل گردید (اکزل و ساعتی، ۱۹۸۳). به عبارتی، هر کدام از مؤلفه‌های ماتریس‌ها از میانگین هندسی پرسش‌شوندگان مختلف همان مؤلفه به دست آمده‌است. میانگین هندسی از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:



شکل ۲- نمایش گرافیکی ساختار سلسله‌مراتبی در ارزیابی بهره‌برداری از شبکه آبیاری

جدول ۳- سیستم استاندارد نمره‌دهی برای ۹ اولویت به‌منظور استفاده در روش AHP (ساعتی، ۱۹۹۴)

درجه اهمیت در مقایسه زوجی	*کد عددی	**کد حرفی
ترجیح یکسان	۱	A
یکسان تا به نسبت مرجح	۲	B
به نسبت مرجح	۳	C
به نسبت تا قویاً مرجح	۴	D
به شدت مرجح	۵	E
به شدت تا بسیار مرجح	۶	F
ترجیح بسیار قوی	۷	G
بسیار تا بی‌اندازه مرجح	۸	H

مقدار معکوس این اعداد

مقدار معکوس توضیحات بالا برای مقایسه‌های معکوس

\* کد عددی: هنگامی که عامل سطر بر عامل ستون ترجیح داشته باشد.

\*\* کد حرفی: هنگامی که عامل ستون به عامل سطر ترجیح داده می‌شود.

جدول ۴- شاخص‌های تصادفی برای ابعاد مختلف ماتریس مقایسه زوجی (قدسی‌پور، ۱۳۹۱)

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
RI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۴۸	۱/۵۶	۱/۵۷	۱/۵۹

کشت و نوع سازه‌های تنظیم و توزیع آب وارد شد. در مرحله بعدی، گزینه‌ها شامل واحدهای عمرانی دشت فومنات (F1، F2، F3، F4) وارد شد. آن‌گاه مدل ذخیره شد. با تشکیل ساختار سلسله‌مراتبی در نرم‌افزار EC، عناصر مقایسه زوجی شدند. مقایسه زوجی، فرایندی برای مقایسه اهمیت، برتری یا درست‌نمایی دو عنصر نسبت به عنصر سطح بالاتر است. مدل سلسله‌مراتبی از پایین‌ترین سطح آن به سمت بالا حل شد. پس از اتمام مقایسه‌ها، نتایج حاصل از مقایسه‌های زوجی به صورت نموداری از وزن‌ها به نمایش درآمد که نرخ ناسازگاری را نیز نشان داد. از عمل تلفیق الویت‌ها برای محاسبه وزن نهایی هر گزینه استفاده

### معرفی نرم‌افزار EC<sup>۱</sup>

داده‌های جمع‌آوری شده از پرسش‌نامه‌ها که مورد تحلیل و محاسبه قرار گرفته بودند (ماتریس‌های مقایسه زوجی گروهی)، به‌عنوان ورودی به نرم‌افزار Expert Choice برای تعیین وزن معیارها و واحدهای عمرانی معرفی گردید. نرم‌افزار Expert Choice توانایی دریافت داده‌ها به صورت کمی و کیفی را داراست. ابتدا ساختار سلسله‌مراتبی در Expert Choice مطابق با شکل ۲ ساخته شد که پس از وارد کردن نام مدل و تعریف مدل، معیارها شامل نحوه توزیع آب در شبکه، وضعیت تخصیص آب، تبعیت از الگوی

1- Expert choice

### نتایج و بحث

در این مطالعه، رتبه‌بندی واحدهای عمرانی دشت فومنات از نظر مسائل و مشکلات بهره‌برداری از شبکه آبیاری سفیدرود براساس معیارهای چهارگانه «نوع سازه‌های تنظیم و توزیع آب»، «وضعیت تخصیص آب»، «نحوه توزیع آب» و «تبعیت از الگوی کشت» انجام شد. ماتریس‌های قضاوت گروهی، عبارت بودند از جداول مقایسه گروهی گزینه‌ها نسبت به معیارهای مختلف به شرح جداول ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹. ماتریس مقایسه زوجی گروهی معیارهای مختلف مطابق با جدول ۹ می‌باشد.

جدول ۵- ماتریس مقایسه‌های زوجی گروهی گزینه‌ها نسبت به

وضعیت تخصیص آب				
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$
$F_1$	۱	۳	۹	۱۴/۵
$F_2$		۱	۶	۱۰/۸۵
$F_3$			۱	۵/۴۲
$F_4$				۱

جدول ۶- ماتریس مقایسه‌های زوجی گروهی گزینه‌ها نسبت به

نوع سازه‌های تنظیم و توزیع آب				
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$
$F_1$	۱	۱	۳	۱۶/۳۵
$F_2$		۱	۲	۱۶/۷۸
$F_3$			۱	۵/۴۲
$F_4$				۱

جدول ۷- ماتریس مقایسه‌های زوجی گروهی گزینه‌ها نسبت به

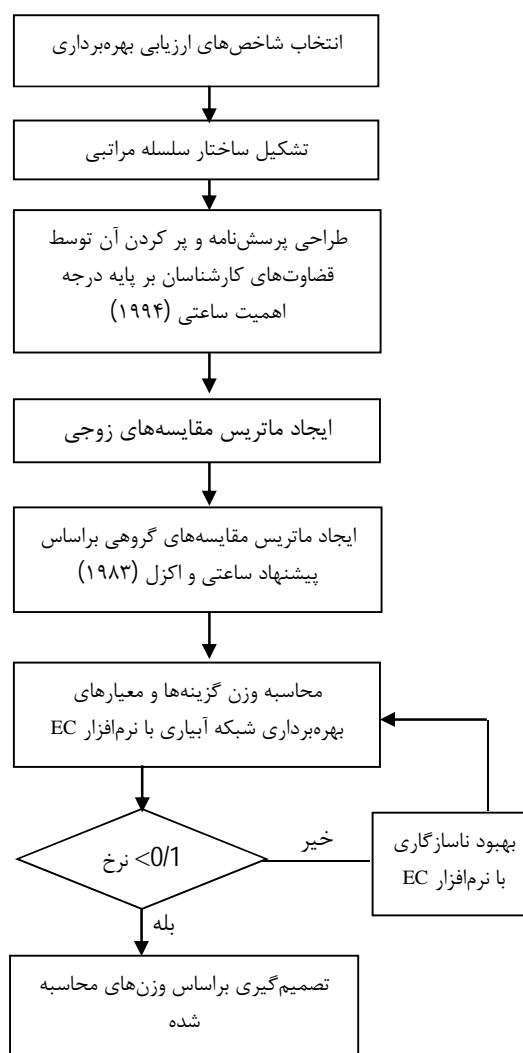
نحوه توزیع آب در شبکه				
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$
$F_1$	۱	۱	۳	۱۱/۴۴
$F_2$		۱	۲	۱۱/۴۴
$F_3$			۱	۹/۱۵
$F_4$				۱

جدول ۸- ماتریس مقایسه‌های زوجی گروهی گزینه‌ها نسبت به

تبعیت از الگوی کشت				
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$
$F_1$	۱	۱	۱	۱/۵۸
$F_2$		۱	۱	۱/۵۸
$F_3$			۱	۱/۵۸
$F_4$				۱

شد. با توجه به اینکه نرم‌افزار Expert Choice مقایسه‌ها را بر مبنای طیف ساعتی (۱۹۹۴) انجام می‌دهد، نرخ ناسازگاری را نیز محاسبه می‌کند. ساعتی (۱۹۹۴) پیشنهاد می‌کند که اگر ناسازگاری تصمیم بیشتر از ۰/۱ باشد، بهتر است تصمیم‌گیرنده در قضاوت‌های خود تجدیدنظر کند. نرخ ناسازگاری، سازوکاری است که به وسیله آن اعتبار پرسش‌شوندگان به ماتریس‌های مقایسه‌ای مورد سنجش قرار می‌گیرد.

مراحل ارزیابی بهره‌برداری از شبکه آبیاری برای تعیین وزن شاخص‌ها و بررسی میزان سازگاری تصمیم‌ها در شکل ۳ آمده است.



شکل ۳- فلوچارت مدل ارزیابی بهره‌برداری از شبکه آبیاری

براساس AHP

جدول ۹- ماتریس مقایسه زوجی گروهی معیارهای مختلف

تبعیت از الگوی کشت	نحوه توزیع آب	تخصیص آب	نوع سازه‌های تنظیم و توزیع آب	نوع سازه‌های تنظیم و توزیع آب
۲/۹	۴/۲۱	۲/۹۲	۱	نوع سازه‌های تنظیم و توزیع آب
۲/۵۱	۱/۷	۱		تخصیص آب
۲/۵۱	۱			نحوه توزیع آب
۱				تبعیت از الگوی کشت

معیار در مسائل بهره‌برداری از واحدهای عمرانی مورد مطالعه، معیار نوع «سازه‌های تنظیم و توزیع آب» با وزن نهایی ۰/۵۱۲ می‌باشد. شاخص‌های «وضعیت تخصیص آب» و «نحوه توزیع آب» و «تبعیت از الگوی کشت» با وزن‌های ۰/۲۲۳، ۰/۱۶۱ و ۰/۱۰۴ به ترتیب در رتبه‌های بعدی اثرگذاری قرار می‌گیرند. بنابراین، مؤثرترین شیوه برای ارتقای بهره‌برداری از این واحدها تمرکز بر معیار «نوع سازه‌های تنظیم و توزیع آب» است. در تحقیقی از منعم و قدوسی (۱۳۸۳) ضرایب وزنی حاصل از مقایسه زوجی سازه‌های مختلف، از جمله سازه‌های آب‌بند، سازه‌های آبیگر، سیفون و آبشار به ترتیب برابر ۰/۲۰۱، ۰/۱۵۴، ۰/۰۴ و ۰/۰۴ به دست آمد. نتایج تحقیق منتظر و قیداری (۱۳۸۹) برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری مختلف نشان داد که عامل سازه دارای رتبه نخست تأثیرگذاری است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسه زوجی معیارها کمتر از ۰/۱ بوده (۰/۰۷) که بیانگر سازگاری تصمیم‌گیری‌ها و اعتبار پاسخ‌های پرسش‌شوندگان به ماتریس‌های مقایسه‌ای در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است.

وزن‌های واحدهای مختلف عمرانی در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود. نتایج نشان داد که واحدهای عمرانی F1 با داشتن بیشترین وزن (۰/۴۲۲) در مقایسه با دیگر گزینه‌ها بهترین وضعیت را از نظر بهره‌برداری داشته و از دیدگاه ارزیابی در الویت اول قرار دارند و واحدهای F4، F3، F2 به ترتیب در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. در تحقیقی از توانا و هوشمند (۱۳۸۹) وزن‌های واحدهای مختلف عمرانی دشت میاناب شوشتر برابر ۶/۷ درصد، ۳۲/۶ درصد، ۲۴/۲ درصد و ۳۶/۶ درصد به دست آمد. وزن نهایی گزینه‌ها دارای نرخ ناسازگاری ۰/۰۵ است که با توجه به کمتر بودن این نرخ از ۰/۱، تصمیم گروه دارای سازگاری قابل قبول بوده و قضاوت افراد به میزان ۰/۹۵ بر قضاوت گروهی منطبق است؛ بنابراین، بنا به پیشنهاد ساعتی (۱۹۹۴) نیازی به تجدیدنظر در قضاوت‌ها نخواهد بود.

جدول ۱۰- وزن نهایی گزینه‌ها

F <sub>۱</sub>	F <sub>۲</sub>	F <sub>۳</sub>	F <sub>۴</sub>	نرخ ناسازگاری
۰/۴۲۲	۰/۳۴۲	۰/۱۸۹	۰/۰۴۷	۰/۰۵

وزن نهایی معیارهای مورد استفاده در جدول ۱۱ قابل مشاهده است. بر اساس وزن نهایی معیارها تأثیرگذارترین

جدول ۱۱- وزن نهایی معیارها

نوع سازه‌های تنظیم و توزیع آب	وضعیت تخصیص آب	نحوه توزیع آب	تبعیت از الگوی کشت	نرخ ناسازگاری
۰/۵۱۲	۰/۲۲۳	۰/۱۶۱	۰/۱۰۴	۰/۰۷

حجم آب در دسترس در دو مدل با داشتن بیشترین وزن به ترتیب به مقدار ۳۶ درصد و ۲۱ درصد در اولویت اول قرار گرفتند. همچنین، ملاحظه می‌شود که واحد عمرانی F1 از لحاظ وضعیت تخصیص آب نسبت به دیگر معیارها دارای رتبه نخست بوده و واحدهای عمرانی F4، F3، F2 رتبه‌های بعدی قرار دارند. این الویت‌بندی واحدهای عمرانی از لحاظ معیارهای «نوع سازه‌های تنظیم و توزیع آب» نیز مشاهده می‌شود. نرخ ناسازگاری محاسبه‌شده در نرم‌افزار

وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیارهای مختلف و نرخ ناسازگاری متناظر با هر یک در جدول ۱۲ قابل مشاهده است. وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیارهای مختلف نشان داد که تأثیرگذارترین عامل در واحدهای عمرانی F1، F2، F3 به ترتیب شاخص‌های «وضعیت تخصیص آب»، «نوع سازه‌های تنظیم و توزیع آب» و «تبعیت از الگوی کشت» بوده است. در تحقیقی از غفاری و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از دو مدل سلسله‌مراتبی، معیارهای حجم آب و

تصمیم‌گیری‌ها می‌باشد. در تحقیقی از توانا و هوشمند (۱۳۸۹) نرخ ناسازگاری کلی مدل در بررسی مسائل و مشکلات بهره‌برداری شبکه آبیاری برابر ۰/۰۴ به‌دست آمد.

EC بر مبنای طیف ساعتی (۱۹۹۴) در هر چهار مقایسه زوجی، دارای مقداری کمتر از ۰/۱ است و نشان‌دهنده سازگاری قابل قبول سیستم و نبود نیاز به تجدید نظر در

جدول ۱۲- جدول وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیارهای مختلف

وزن	تبعیت از الگوی کشت	وزن	نحوه توزیع آب	وزن	وضعیت تخصیص آب	وزن	نوع سازه‌های تنظیم و توزیع آب
۰/۲۷۵	F <sub>۱</sub>	۰/۴۱۴	F <sub>۱</sub>	۰/۶۰۳	F <sub>۱</sub>	۰/۴۱۵	F <sub>۱</sub>
۰/۲۷۵	F <sub>۲</sub>	۰/۳۶۷	F <sub>۲</sub>	۰/۲۹۳	F <sub>۲</sub>	۰/۳۷۰	F <sub>۲</sub>
۰/۲۷۵	F <sub>۳</sub>	۰/۱۹۱	F <sub>۳</sub>	۰/۰۷۸	F <sub>۳</sub>	۰/۱۹۵	F <sub>۳</sub>
۰/۱۷۴	F <sub>۴</sub>	۰/۰۲۹	F <sub>۴</sub>	۰/۰۲۶	F <sub>۴</sub>	۰/۰۲۰	F <sub>۴</sub>
۰	نرخ ناسازگاری	۰/۰۳	نرخ ناسازگاری	۰/۰۹	نرخ ناسازگاری	۰/۰۳	نرخ ناسازگاری

### نتیجه‌گیری

بگیرد. با توجه به اینکه معیارهای چهارگانه تبعیت از الگوی کشت، وضعیت تخصیص آب، نوع سازه‌های تنظیم و توزیع آب و نحوه توزیع آب در شبکه قابل توصیه برای ارزیابی دیگر واحدهای عمرانی دشت گیلان می‌باشد، پیشنهاد می‌شود تحقیق دیگری برای ارزیابی واحدهای عمرانی بخش مرکزی و شرقی نیز انجام شود؛ همچنین، پیشنهاد می‌شود در صورت گسترش معیارها تحقیقی با تلفیق تحلیل سلسله‌مراتبی و فازی انجام شود.

در این تحقیق، یک مدل سلسله‌مراتبی بر اساس محورهای برنامه عملیاتی بهره‌برداری از شبکه آبیاری، شامل کنترل و تخصیص منابع آب و کنترل و توزیع آب توسعه یافت و برای ارزیابی سیستم انتقال و توزیع بخش غربی شبکه آبیاری سفیدرود- دشت فومنات مورد استفاده قرار گرفت. مدل تحلیل سلسله‌مراتبی به دلیل داشتن مزایای زیادی، نظیر اندازه‌گیری سازگاری نظرهای تصمیم‌گیران و برخورداری از مقایسه‌های زوجی، روش مناسبی برای وزن‌دهی شاخص‌ها می‌باشد. این مدل با ساده‌سازی پیچیدگی‌های مسائل بهره‌برداری از شبکه آبیاری در قالب ساختار سلسله‌مراتبی میزان تأثیر هر یک از شاخص‌ها را با دقت بالایی مورد ارزیابی قرار داد. نتایج تحقیق اولویت‌های واحدهای عمرانی را مشخص کرده و تطابق خوبی را با واقعیت نشان داده است. با توجه به اینکه واحد عمرانی F1 جزو اولین واحدهایی می‌باشد که با شبکه آبیاری مدرن به بهره‌برداری رسیده و به سراب نزدیک می‌باشد و از وضعیت بهره‌برداری بهتری برخوردار می‌باشد، نتایج تحقیق نیز بیشترین وزن را به واحد عمرانی F1 اختصاص داده است و بیانگر آن است که واحد عمرانی F1 از وضعیت بهره‌برداری مطلوب‌تری برخوردار است. میزان تأثیر هر یک از شاخص‌ها نیز به کمک مقایسه‌های زوجی مشخص گردید و عامل نوع سازه‌های تنظیم و توزیع آب تأثیرگذارترین معیار برای ارتقای بهره‌برداری از شبکه آبیاری ارزیابی شد. لازم است نسبت به فعال‌بودن سازه‌های انتقال و توزیع آب توجه بیشتری گردد و رگلاژ و تعمیرات آن برای جلوگیری از برداشت غیرمجاز آب توسط کشاورزان در اولویت قرار

### منابع

- توانا ا. و هوشمند ع. ۱۳۸۹. استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در ارزیابی مسایل و مشکلات بهره‌برداری و نگهداری شبکه آبیاری میاناب شوشتر. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی ۱۰-۱۲ اسفند. دانشگاه شهید چمران اهواز. ۹-۱.
- غفاری ا. منتظر ع. ا. و رحیمی جمبانی ع. ۱۳۸۹. توسعه و ارزیابی مدل تعیین الگوی کشت بهینه شبکه‌های آبیاری با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (مطالعه موردی شبکه آبیاری دشت ورامین). مجله آب و خاک. ۲۴(۶): ۱۱۱۹-۱۱۲۸.
- قدسی‌پور س. ح. ۱۳۹۱. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP). مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران). چاپ دهم. ۲۱۹ ص.
- منتظر ع. ا. و نصیری قیداری ا. ۱۳۸۹. توسعه مدل ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی. مجله آبیاری



و زهکشی ایران. ۴(۳): ۴۴۰-۴۵۳.

۵. منعم م. ج. و قدوسی ح. ۱۳۸۳. ارزیابی و بهبود عملکرد هشت شبکه آبیاری کشور با انجام تحلیل حساسیت در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۱(۱): ۶۹-

۷۷.

6. Aczel J. and Saaty T. 1983. Procedure for synthesizing ratio judgements. *Mathematical Psychology*. 27(1): 93-102.
7. Saaty T. L. 1994. Highlights and critical points in the theory and application of the Analytical Hierarchy Process. *Operational Research*. 74(3): 426-447.
8. Montazar A. and Zadbagher E. 2010. An analytical hierarchy model for assessing global water productivity of irrigation networks in Iran. *Water Resources Management*. 24(11): 2817-2832.

