نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۵، شماره ۵، آذر - دی ۱۳۹۰، ص. ۱۰۵۷-۱۰۴۲

Journal of Water and Soil
Vol. 25, No. 5, Nov-Des 2011, p. 1042-1057

# ارزیابی عملکرد تعدادی از شبکه‌های آبیاری جهان با استفاده ازشیوه مقایسه‌ای و تحلیل داده‌کاوی

محبوبه زحمتکش[۱]- علی اصغر منتظر[۲*]

تاریخ دریافت:۸۹/۵/۴
تاریخ پذیرش:۹۰/۵/۱

## چکیده

این تحقیق با هدف ارزیابی عملکرد ۱۸ شبکه آبیاری از ۱۰ کشور جهان با استفاده از شیوه مقایسه‌ای و تحلیل داده‌کاوی انجام گردید. بدین منظور عملکرد شبکه‌های آبیاری دز، سفیدرود، تجن و وشمگیر از ایران با ۱۴ شبکه آبیاری از ۹ کشور جهان مورد مقایسه قرار گرفت. در بررسی‌ها از ۱۳ شاخص ارزیابی در زمینه عملکرد بهره‌برداری و راندمان تولید استفاده شد. شیوه خوشه‌بندی k-means در تحلیل شاخص‌ها و داده‌کاوی ارتباط مابین آن‌ها به‌کار گرفته شد. با محاسبه مقادیر کمّی شاخص‌ها و انجام فرایند خوشه‌بندی، هفت خوشه مجزا از شبکه‌های آبیاری تشکیل و ارزیابی گردید. بررسی خوشه‌ها نشان داد که هم‌خوشه بودن شبکه‌های بدون پوشش کانال‌های انتقال آب و شبکه‌های دارای۱۰۰ درصد پوشش بتنی کانال‌های اصلی و ۵۰ درصد پوشش بتنی کانال‌های فرعی می‌تواند به دلیل استفاده از آب برگشتی زهکش‌ها در شبکه مودا باشد. به تعبیر دیگر پوشش‌دار نمودن کانال‌های انتقال و تجهیز شبکه‌های آبیاری به سیستم استفاده از آب برگشتی شرایط دستیابی به عملکرد تحویل آب مطلوب این سامانه‌ها را فراهم می‌نماید. نتایج بیان‌گر آن است که تسطیح اراضی به‌عنوان یکی از برنامه‌های به‌سازی، نقش قابل توجهی در ارتقای سطح راندمان تولید شبکه‌های آبیاری ایفا می‌نماید. در این زمینه افزایش تولید ۱/۵ تا ۲ تن در هکتار در شبکه‌های بنی امیر مراکش و آفیس دونیگرکشور مالی به دلیل اجرای برنامه تسطیح اراضی تجربه گردیده است. ارزیابی نشان داد که وجود انجمن‌های فعال بهره‌برداران آب در شبکه‌های آبیاری به‌عنوان عامل دیگری در بهبود راندمان‌های مدیریتی است. در این زمینه می‌توان مطلوب بودن شاخص‌های اقتصادی شبکه وشمگیر علی‌رغم وجود هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری بالا به دلیل اتمام عمر مفید سد و اجزای آن را تنها در نتیجه وجود تعاونی‌ها و تشکل‌های آب‌بران و مدیریت ۷۰ درصد از اراضی شبکه توسط آن‌ها جستجو نمود. عدم وجود این تشکل‌ها در شبکه دز، باعث افزایش مقدار شاخص نسبت تأمین آب آبیاری سالانه به ۳/۰۸ گردیده است. این در حالی است که این شاخص‌ها در شبکه آفیس دو نیگر با بهره‌مندی از انجمن‌های فعال مصرف‌کنندگان آب ۰/۱۲بوده است. نتایج نشان داد که کاربرد ترکیبی شیوه تحلیل مقایسه‌ای و خوشه‌بندی از قابلیت مطلوبی در ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری برخوردار می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** ارزیابی مقایسه‌ای، خوشه‌بندی، داده‌کاوی، شاخص‌های عملکرد، شبکه آبیاری

## مقدمه

هدف از ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی تأمین اطلاعات لازم برای سیاست‌گزاران، برنامه‌ریزان و متولیان بهره‌برداری و نگهداری به‌منظور اعمال اصلاحات و ارتقای سطح کارایی این سامانه‌هاست. در حال حاضر با توجه به محدودیت منابع آب شیرین و تقاضای روز افزون تأمین غذا از یک طرف و شدت یافتن رقابت بین بخش صنایع، محیط زیست و اکوسیستم در مصرف آب با بخش کشاورزی از طرف دیگر، این سیستم‌ها بایستی به طریقی مدیریت و بهره‌برداری شوند تا از واحد حجم آب، حداکثر تولید مواد غذایی صورت پذیرفته و حفظ منابع آب و خاک در جهت توسعه پایدار نیز تامین گردد.

در سال‌های اخیر دانشمندان و محققان روش‌های مختلفی را برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری مطرح و در موارد متعددی نیز اجرا نموده‌اند (۱). ارزیابی مقایسه‌ای (Benchmarking) یکی از این روش‌ها بوده که ابزار مفیدی برای مدیریت بر تشکیلاتی که خدمات‌رسانی به جامعه و یا تولید محصولی را بر عهده دارد، به‌شمار می‌آید. ارزیابی مقایسه‌ای را می‌توان به‌عنوان «اقدام به بهبود مستمر عملکرد سیستم از طریق مقایسه با سیستم‌های مشابه و دستیابی به

۱و۲- دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
(*- نویسنده مسئول: (Email:almontaz@ut.ac.ir

معیارها و استانداردهای داخلی و خارجی پیشرفته» تعریف نمود (۵). هدف کلی این روش همانند سایر روش‌های ارزیابی، بهبود عملکرد یک تشکیلات از طریق مقایسه وضعیت کنونی آن با اهداف از پیش تعیین شده می‌باشد. در این نوع ارزیابی، عمل مقایسه می‌تواند در داخل سیستم صورت گرفته و وضعیت موجود را با گذشته و یا با اهداف مورد انتظار در آینده، مقایسه نماید و یا در خارج از سیستم و با عملکرد تشکیلات مشابه صورت پذیرد. هدف از این کار، شناسایی راهکارها، روش‌ها و فعالیت‌های مدیریتی است که در آن سیستم‌ها به‌کار برده شده و نتایج مطلوبی را به‌بار آورده‌اند. این فعالیت‌ها و فرایندها که موجب ارتقاء عملکرد سیستم‌های مورد نظر شده‌اند به‌عنوان دستورالعمل‌ها و استانداردهای اجرایی و مدیریتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگر فرایندهای مناسب موجود در ارزیابی مقایسه‌ای در یک سیستم به درستی اجرا شود نتیجه آن، ارتقاء سطح عملکرد سیستم خواهد بود (۵). در زیر به نتایج برخی از مهم‌ترین پژوهش‌هایی که از روش ارزیابی مقایسه‌ای به‌منظور بررسی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی استفاده کرده‌اند، اشاره می‌شود.

پیشنهاد اجرای برنامه ارزیابی عملکرد فصلی شبکه‌های آبیاری کشور سری‌لانکا به روش مقایسه‌ای توسط جایاتیلاک ارائه گردید (۱۲). چهار شاخص عملکرد انتخابی در این ارزیابی عبارت بودند از: نسبت مساحت‌های کشت شده در هر دو نوبت کشت به مساحت ناخالص اراضی، طول فصل آبیاری، نسبت حجم آب تحویل شده در طول فصل آبیاری به مساحت تحت کشت و نسبت حجم آب تحویل شده در طول فصل آبیاری به علاوه بارندگی مؤثر به مساحت تحت کشت. اجرای این برنامه شرایط ارتقای سطح عملکرد شبکه‌های آبیاری با ساختار فیزیکی و مدیریتی در اقلیم‌های مختلف را فراهم نمود (۱۲). مالانا و مالانو ارزیابی مقایسه‌ای را در مزارع گندم کشورهای هند و پاکستان اجرا نمودند (۱۳). در این تحقیق شاخص اصلی، راندمان تولید بوده و به‌منظور تحلیل نتایج از روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده گردید. به این منظور ۲۵ منطقه تحت کشت گندم از شبکه‌های آبیاری لاور جلوم و لاور ایندوس از پاکستان و شبکه بهاکرا از هندوستان انتخاب شد. ارزیابی برپایه آنالیز سه ورودی بنا نهاده شد که عبارت بودند از میزان آب آبیاری، کود و بذر. از مهم‌ترین عوامل راندمان پایین مزارع مورد مطالعه، استفاده بی‌رویه آب و کود شیمیایی شناخته شد. این مطالعه نشان داد که واحدهای ناکارآمد می‌توانند با بهینه نمودن سطح ورودی‌ها به عملکردهای بالا در تولید محصول دست یابند (۱۳).

در تحقیق دیگری که بر روی نه منطقه آبیاری از اندولزی کشور اسپانیا انجام شد، ارزیابی شاخص‌های عملکرد با استفاده از روش آنالیز چندمتغیره خوشه‌بندی (Clustering) صورت پذیرفت (۱۶). بررسی نشان داد که نواحی با عملکرد پایین‌تر، از امکان استفاده از روش‌های مدرن آبیاری محروم بوده‌اند. تکرار فرایند ارزیابی در دوره‌های زمانی مشخص به‌عنوان ابزاری در ارتقای عملکرد نواحی آبیاری معرفی گردید. مولدن و همکاران شاخص‌هایی را برای مقایسه عملکرد سیستم‌های آبیاری بر اساس رابطه بین خروجی‌ها و ورودی‌های اصلی این سامانه‌ها (شامل آب، زمین و منابع مالی) ارائه نموده و در ارزیابی ۱۸ شبکه آبیاری مورد استفاده قراردادند (۱۵). در این مطالعه از نه شاخص ارزیابی عملکرد استفاده شد. توجه به نوع کشت، تراکم کشت، استفاده بهینه از آب باران و انتقال مدیریت از دولت به سطوح بهره‌برداران به‌عنوان مهم‌ترین زمینه ارتقای شبکه‌های مورد مطالعه عنوان شد (۱۵). کرنیش از یافته‌های پنج سال اجرای روش ارزیابی مقایسه‌ای که در سازمان‌های تهیه‌کننده آب، روی شبکه‌های آبیاری و زهکشی پنج کشور استرالیا، چین، هند، مکزیک و سری‌لانکا صورت گرفت به این نتیجه رسید که ارزیابی مقایسه‌ای به‌عنوان یک روش ارزیابی مستمرو بسیار ارزشمند بوده که شاخص‌ها و کیفیت عملکرد آن‌ها در این روش بسیار با اهمیت است (۱۰).

جلیلی و همکاران طی تحقیقی از ارزیابی مقایسه‌ای عددی و غیرگرافیکی استفاده کردند (۲). آن‌ها ابتدا شاخص‌های ارزیابی را ارزش‌گذاری و سپس نرمال نمودند. مقایسه شاخص‌های ارزیابی در پنج عرصه مدیریتی، فنی، اجتماعی، مالی و زیست‌محیطی و برای دو شبکه آبیاری بریموند و دینور در استان کرمانشاه صورت گرفت. در نتیجه مقایسه دو شبکه با سطح استاندارد تعیین شده، مقدار عملکرد شبکه بریموند ۰/۸۷ و دینور ۰/۹۱ تعیین شد. در شبکه آبیاری بریموند مقدار پتاسیل بهبود شاخص‌های مدیریتی ۰/۰۳۹، فنی ۰/۰۳۶، اجتماعی ۰/۰۳۳، مالی ۰/۰۱۳ و زیست‌محیطی ۰/۰۰۸ و در شبکه آبیاری دینور به‌ترتیب ۰/۰۴۲، ۰/۰۲۹، ۰/۰۱۱۲، ۰/۰۰۷ و ۰/۰۰۴ اولویت‌بندی گردید (۲).

نظر به کارایی شیوه ارزیابی مقایسه‌ای و تحلیل‌های داده‌کاوی، به‌نظر می‌رسد استفاده ترکیبی از آن‌ها بتواند امکان شناخت و ارزیابی جامع‌تری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری را فراهم کرده و ارتقای سطح عملکرد این سامانه‌ها را زمینه‌سازی نماید. این تحقیق با هدف ارزیابی عملکرد ۱۸ شبکه آبیاری از ۱۰ کشور جهان با استفاده از شیوه مقایسه‌ای و تحلیل داده‌کاوی تعریف و انجام گردید. با توجه به شبکه‌های آبیاری انتخابی که دارای شرایط مختلف و متنوع مدیریتی، فنی، بهره‌برداری، اجتماعی و فرهنگی، اقلیمی، منابع آبی و الگوی کشت می‌باشند؛ نتایج این تحقیق می‌تواند قابلیت کاربرد تلفیقی این دو شیوه را ارزیابی نماید.

## مواد و روش‌ها

**شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه:** در این مطالعه، ۱۸ شبکه آبیاری از ۱۰ کشور جهان مورد مقایسه و ارزیابی عملکرد قرار گرفت. مشخصات عمومی شبکه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده

است. شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه درکشورهای آمریکای لاتین، آفریقا، خاور نزدیک، هندوستان و آسیای جنوب شرقی واقع می‌باشند. در این بین چهار شبکه آبیاری دز، سفیدرود، تجن و وشمگیر از ایران، سه شبکه آبیاری ماجالگون، دانتی وادا و بهاکرا از هند، دو شبکه کوپاتیت زیو و سالدانا از کلمبیا، دو شبکه کوپاتیت زیو و ریومایو از مکزیک، دو شبکه مودا و کموبو از مالزی، شبکه سیحان از ترکیه، شبکه بنی امیر تادلا از مراکش، شبکه لام پائو از تایلند، شبکه آفیس دونیگر از مالی و شبکه ریویاکو آلتو از جمهوری دومینیکن انتخاب شدند.

جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز شبکه‌های آبیاری ایران در قالب عملیات میدانی، تهیه و تکمیل پرسش‌نامه توسط کارشناسان شبکه‌ها و بررسی گزارشات مطالعات موجود صورت گرفت. به‌منظور دستیابی به اطلاعات مورد نیاز سایر شبکه‌های مورد بررسی در این تحقیق نیز از نتایج مطالعات سازمان خوار و بار جهانی استفاده گردید (۹).

## شیوه ارزیابی و تحلیل شاخص‌های عملکرد

در بررسی عملکرد شبکه‌های آبیاری از روش ارزیابی مقایسه‌ای استفاده شد. با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده، مقادیر کمّی ۱۳ شاخص عملکرد (در دو حوزه ارائه خدمات به بهره‌برداران و راندمان تولید) از مجموعه شاخص‌های پیشنهادی برنامه بین‌المللی تکنولوژی و پژوهش در آبیاری و زهکشی (IPTIRD) بانک جهانی که با هدف ارتقاء کیفی پروژه‌های آبیاری و زهکشی تهیه گردیده است (۱۴)، برای هر یک از شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه محاسبه شد. شاخص‌های مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده‌اند. به‌منظور تحلیل شاخص‌ها، از روش تحلیل برون‌سازمانی استفاده شده تا با تحلیل بیشتر اطلاعات و داده‌ها از طریق به‌کارگیری روش‌های آماری ارزیابی جامع‌تری صورت گیرد چراکه این روش‌ها برای تشریح عوامل تأثیرگذار در عملکردهای ضعیف مفید می‌باشند. شیوه خوشه‌بندی k-means (از زیر شاخه‌های علم داده‌کاوی) در تحلیل شاخص‌ها و داده‌کاوی ارتباط مابین آن‌ها به‌کار گرفته شد (۳).

**جدول ۱- مشخصات عمومی شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه**

| نام طرح | کشور | نزدیک‌ترین شهر | مساحت (هکتار) | زراعت اصلی | میانگین تبخیر سالانه (mm) | میانگین بارندگی سالانه (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| لام پائو | تایلند | کالاسیان (کن کان) | ۴۹۳۳۸ | برنج | ۱۶۹۵ | ۱۳۳۶ |
| دز | ایران | دزفول (خوزستان) | ۹۸۵۰۰ | گندم | ۱۶۷۰ | ۲۵۰ |
| گیلان | ایران | رشت (گیلان) | ۲۳۵۰۰۰ | برنج | ۷۷۱ | ۱۲۹۰ |
| تجن | ایران | ساری (مازندران) | ۵۲۵۰۰ | برنج | ۶۰۵ | ۷۰۰ |
| وشمگیر | ایران | گرگان (گلستان) | ۲۵۰۰۰ | غلات | ۱۷۳۴ | ۳۱۲/۵ |
| سیحان | ترکیه | آدانا | ۱۰۳۱۳۵ | ذرت دانه ای | ۱۲۸۵ | ۷۲۱ |
| ماجالگون | هند | پارلی (اورنگ آباد) | ۱۱۲۸۳ | ذرت علوفه ای | ۲۰۵۵ | ۷۷۴ |
| دانتی وادا | هند | دسا (احمد آباد، گجرات) | ۳۶۶۰۰ | گندم | ۱۸۹۳ | ۶۰۴ |
| بهاکرا | هند | چاندیگار (هاریانا) | ۶۸۳۰۰۰ | برنج | ۱۵۵۰ | ۵۴۵ |
| مودا | مالزی | الورسکار | ۹۷۰۰۰ | برنج | ۱۴۳۰ | ۲۳۰۰ |
| کموبو | مالزی | کوتابرو | ۲۰۴۳۰ | برنج | ۱۴۰۰ | ۲۷۰۰ |
| بنی امیر تادلا | مراکش | بنی ملال | ۲۸۰۰۰ | گندم | ۱۳۲۶ | ۳۷۶ |
| آفیس دونیگر | مالی | سگو | ۵۶۰۰۰ | برنج | ۲۶۲۸ | ۲۳۸ |
| ریویاکو آلتو | جمهوری دومینکن | سانتیاگو | ۳۵۷۴ | مرتع | ۱۹۴۵ | ۹۸۴ |
| کوئیلو | کلمبیا | اسینیال (کولیما) | ۲۵۷۱۱ | برنج | ۱۶۷۶ | ۱۳۰۶ |
| سالدانا | کلمبیا | سالدانا (تولیما) | ۱۴۰۰۰ | برنج | ۱۵۳۳ | ۱۴۴۲ |
| کوپاتیت زیو | مکزیک | آپادزینگان | ۹۸۷۸ | ذرت علوفه ای | ۲۲۸۰ | ۶۷۱ |
| ریومایو | مکزیک | ناوجوآ (سونورا) | ۹۷۰۴۷ | گندم | ۳۳۵۰ | ۳۲۳ |

در این روش تعداد خوشه‌ها یعنی K ممکن است از پیش مشخص شده باشد و یا به‌عنوان بخشی از روش خوشه‌بندی، تعیین گردد. خوشه‌بندی دارای زیر مجموعه‌های مختلفی است و از متداول‌ترین آن‌ها روش K-میانگین می‌باشد که فرایندی سه مرحله‌ایست. بر این اساس، ابتدا شاخص‌ها را به K خوشه اولیه افراز نموده و مرکز هر یک از خوشه‌ها را محاسبه گردید. سپس با فهرست شاخص‌ها شروع کرده و هر شاخص را به خوشه‌ای که مرکز آن نزدیک‌ترین است، نسبت داده شد. مرکز را برای خوشه‌ای که شاخص جدیدی را دریافت نموده و برای خوشه‌ای که شاخصی را از دست می‌دهد، مجدد محاسبه می‌گردید. این مرحله آن‌قدر تکرار می‌شود تا اینکه امکان تخصیص دوباره‌ای وجود نداشته و فرایند خوشه‌بندی به پایان برسد.

در مرحله اول به‌جای این که با افرازی از تمام شاخص‌ها به K دسته اولیه شروع کنیم می‌توان K مرکز را مشخص کرده و سپس با اجرای مرحله دوم ادامه کار را دنبال نمود. لازم به ذکر است تخصیص نهایی شاخص‌ها به خوشه‌ها تا حدودی به افراز اولیه یا انتخاب اولیه نقاط تغذیه بستگی دارد. فاصله اقلیدسی با مشاهدات استاندارد شده محاسبه شد. فاصله بین دو نقطه دلخواه $P$ و $Q$ با مختصات $P=(x_1, x_2, \dots, x_p)$ و $Q=(y_1, y_2, \dots, y_p)$ به‌صورت زیر در نظر گرفته شد (۷):

$$d(P,Q)=\sqrt{(x_1-y_1)^2+(x_2-y_2)^2+\dots+(x_p-y_p)^2} \quad (1)$$

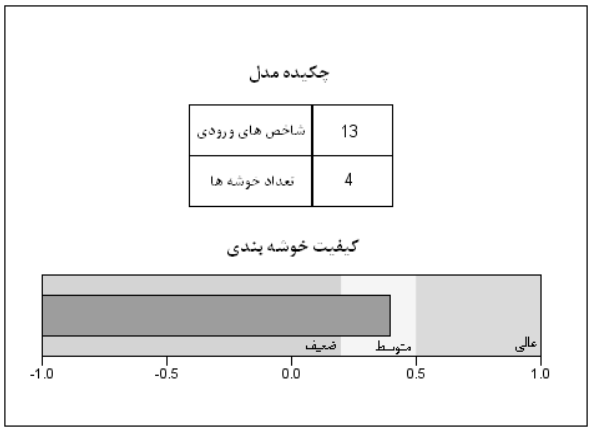
از آنجا که شاخص‌های ارزیابی عملکرد دارای واحدهای متفاوتی هستند به‌منظور قابل استفاده بودن شاخص‌ها در روش خوشه‌بندی، به استانداردسازی آن‌ها پرداخته شد (۷). بدین منظور ابتدا داده‌ها را به‌صورت ماتریسی با p سطر و n ستون که p تعداد شبکه‌های آبیاری و n تعداد متغیرها و یا به عبارتی شاخص‌ها بود، در نظر گرفته شد. در مرحله استاندارد کردن شاخص‌ها، مقدار اولیه $x_{ij}$ ( مقدار ویژه متغیر iام که روی سطر jام مشاهده شده است) با مقدار استاندارد شده $\frac{(x_{ij}-\bar{x}_i)}{\sqrt{s_{ii}}}$ شاخص تعویض گردید؛ که در این تحقیق $i=1,2,\dots,18$ و $j=1,2,\dots,13$ محدوده این متغیرها، $\bar{x}_i$ میانگین و $\sqrt{s_{ii}}$ انحراف استاندارد نمونه می‌باشد.

به‌منظور خوشه‌بندی شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه، مقادیر استاندارد شده شاخص‌ها را در قالب جدول وارد نرم‌افزار PASW Statistics 18 کرده تا فرایند خوشه‌بندی بر روی آن‌ها انجام گیرد. لازم به ذکر است که PASW Statistics 18 نسخه جدید نرم‌افزار تحلیل آماری SPSS می‌باشد (۸). در گام اول عدد ۴ به‌عنوان تعداد خوشه مورد بررسی انتخاب شد. اولین نتیجه‌ای که در نرم‌افزار ظاهر می‌شود وضعیت خوشه‌بندی با تعداد خوشه‌های انتخابی را نشان می‌دهد (شکل ۱).

علاوه بر خروجی حاصل از نرم‌افزار، شاخص DB که معیار صحت‌سنجی در خوشه‌بندی k-means است نیز محاسبه گردید که برای فرض فوق ۱/۴ تعیین شد. DB شاخصی است که دیویس و بولدین بر اساس میزان پراکندگی درونی و میزان فاصله بین خوشه‌های ایجاد شده در روش خوشه‌بندی کلاسیک پیشنهاد کردند (۱۱). بر اساس این شاخص، بهترین خوشه‌بندی زمانی رخ می‌دهد که خوشه‌های ایجاد شده متراکم و قابل تفکیک از یکدیگر باشند.

**جدول ۲- شاخص‌های ارزیابی عملکرد**

| شماره شاخص | تعریف شاخص عملکرد |
|---|---|
| ۱ | میزان آب آبیاری تحویل شده در واحد سطح محدوده زیر پوشش شبکه (مترمکعب بر هکتار) |
| ۲ | میزان آب آبیاری تحویل شده در واحد سطح محدوده آبیاری شده (مترمکعب بر هکتار) |
| ۳ | راندمان تحویل آب در شبکه |
| ۴ | میزان نسبی تأمین آب |
| ۵ | میزان نسبی تأمین آب آبیاری سالانه |
| ۶ | نسبت جبران هزینه‌ها |
| ۷ | هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری در واحد مساحت (دلار بر هکتار) |
| ۸ | عملکرد وصول درآمد |
| ۹ | درآمد متوسط یک متر مکعب آب آبیاری تحویل شده در سال (دلار بر هکتار) |
| ۱۰ | درآمد سالانه تولیدات کشاورزی در واحد سطح محدوده زیر پوشش شبکه (دلار بر هکتار) |
| ۱۱ | درآمد سالانه تولیدات کشاورزی در واحد سطح محدوده آبیاری شده (دلار بر هکتار) |
| ۱۲ | درآمد سالانه تولیدات کشاورزی برحسب واحد آب آبیاری تأمین شده (دلار بر مترمکعب) |
| ۱۳ | درآمد سالانه تولیدات کشاورزی برحسب واحد آب آبیاری تحویل شده (دلار بر مترمکعب) |




**شکل ۱- خروجی مدل- نمایش کیفیت خوشه‌بندی در حالت k=4**

$$DB = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n} \max_{i \neq j}\left(\frac{\sigma_i + \sigma_j}{d(c_i, c_j)}\right) \quad (۲)$$

که n برابر با تعداد خوشه‌ها، σi: میانگین فاصله تمام شاخص‌های موجود در خوشه i با مرکز آن خوشه یعنی ci، σj: میانگین فاصله تمام شاخص‌های موجود در خوشه j با مرکز آن خوشه یعنی cj و d(ci , cj): فاصله میان مراکز خوشه‌های i و j می‌باشد. هرچه مقدار شاخص DB در مورد خوشه‌های ایجاد شده کوچک‌تر باشد آن خوشه‌بندی کامل‌تر و مطلوب‌تر بوده و مراکز خوشه‌های آن از یکدیگر دورترند. به عبارتی تعداد خوشه‌هایی که منجر به محاسبه کمترین DB می‌شوند، مناسب‌ترین تعداد خوشه‌ها می‌باشند (۱۱). مراحل انجام تحقیق در فلوچارت شکل ۲ ارائه شده است.

## نتایج و بحث

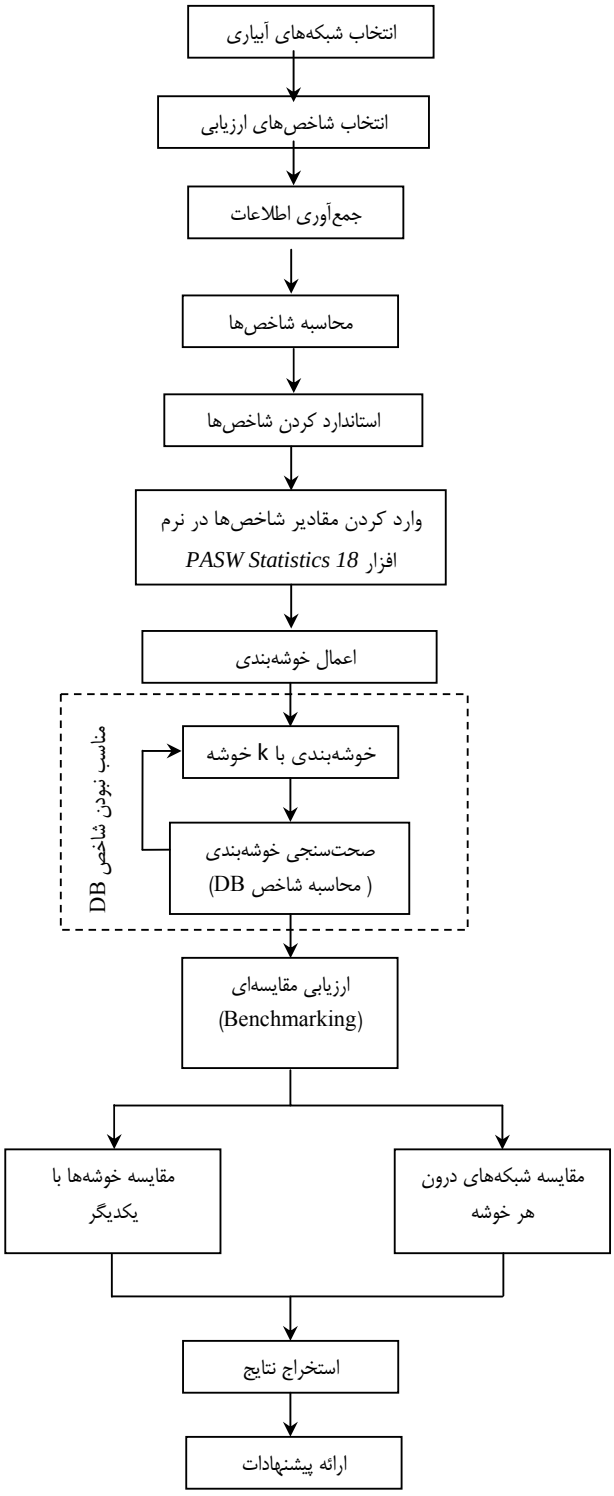
### تعیین خوشه‌های بهینه

به‌منظور تعیین تعداد خوشه بهینه شبکه‌های آبیاری، اثر تغییر تعداد خوشه با شاخص DB مورد بررسی قرار گرفت. مقدار شاخص DB محاسبه شده برای هر یک از تعداد خوشه‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ به‌ترتیب ۱/۲۴، ۱/۰۶، ۰/۹۹ و ۰/۸۹ تعیین شد. نتایج نشان داد که با افزایش تعداد خوشه‌های همگن شبکه‌های آبیاری، دقت خوشه‌بندی افزایش یافته و کیفیت آن به مرز کیفیت عالی خود نزدیک می‌شود. از طرفی با افزایش تعداد خوشه‌ها، اندازه تعداد خوشه‌های تک‌عضوی نیز افزایش یافته که این امر می‌تواند بر کیفیت تحلیل این روش خوشه‌بندی تأثیر منفی داشته باشد.

از دیگر نکات قابل توجه به هنگام تغییر تعداد خوشه‌ها، متفاوت بودن درجه اهمیت شاخص‌ها در خوشه‌بندی‌های مختلف می‌باشد. به‌طوری‌که به هنگام انتخاب عدد ۴ به‌عنوان تعداد خوشه‌ها، درجه اهمیت شاخص‌ها از بالا به پایین به‌ترتیب برابر با ۱، ۰/۹۶، ۰/۹۴، ۰/۸۸، ۰/۵۶، ۰/۴۷، ۰/۴۱، ۰/۵۱، ۰/۳۵ و ۰/۳۴ است. حال آن‌که درجه اهمیت شاخص‌ها به همان ترتیب ذکر شده در حالتی که تعداد خوشه‌ها ۷ باشد برابر با ۱، ۰/۸۸، ۰/۸۵، ۰/۸۱، ۰/۷۵، ۰/۷۳، ۰/۷۰، ۰/۶۶، ۰/۵۳ و ۰/۳۷ تعیین شده است. به تعبیر دیگر با افزایش تعداد خوشه‌ها تمرکز از یک سری شاخص‌های عملکرد خاص برداشته و بر درجه اهمیت دیگر شاخص‌ها افزوده شده و خوشه‌بندی با دخالت تعداد شاخص‌های بیشتری صورت می‌گیرد. همچنین کیفیت خوشه‌بندی در صورتی که تعداد خوشه‌های تشکیل شده در آن برابر با هفت باشد، از مرز کیفیت منصفانه گذشته و وارد محدوده کیفیت قابل قبول می‌شود. بدین ترتیب تعداد خوشه‌های بهینه در این مطالعه، هفت در نظر گرفته شد.

در جدول ۳ تعداد شبکه آبیاری قرار گرفته در خوشه‌های هفت‌گانه و اندازه خوشه به درصد ارائه شده است. بررسی اندازه خوشه‌ها نشان می‌دهد که خوشه شماره ۳ با در بر گرفتن ۲۷/۸ درصد از کل شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه، بزرگ‌ترین خوشه بوده و ۵ شبکه را در خود جای داده است. در مقابل آن خوشه هفت قرار دارد که سهم آن تنها یک شبکه آبیاری بوده و ۵/۶ درصد از کل شبکه‌ها را به خود اختصاص می‌دهد.

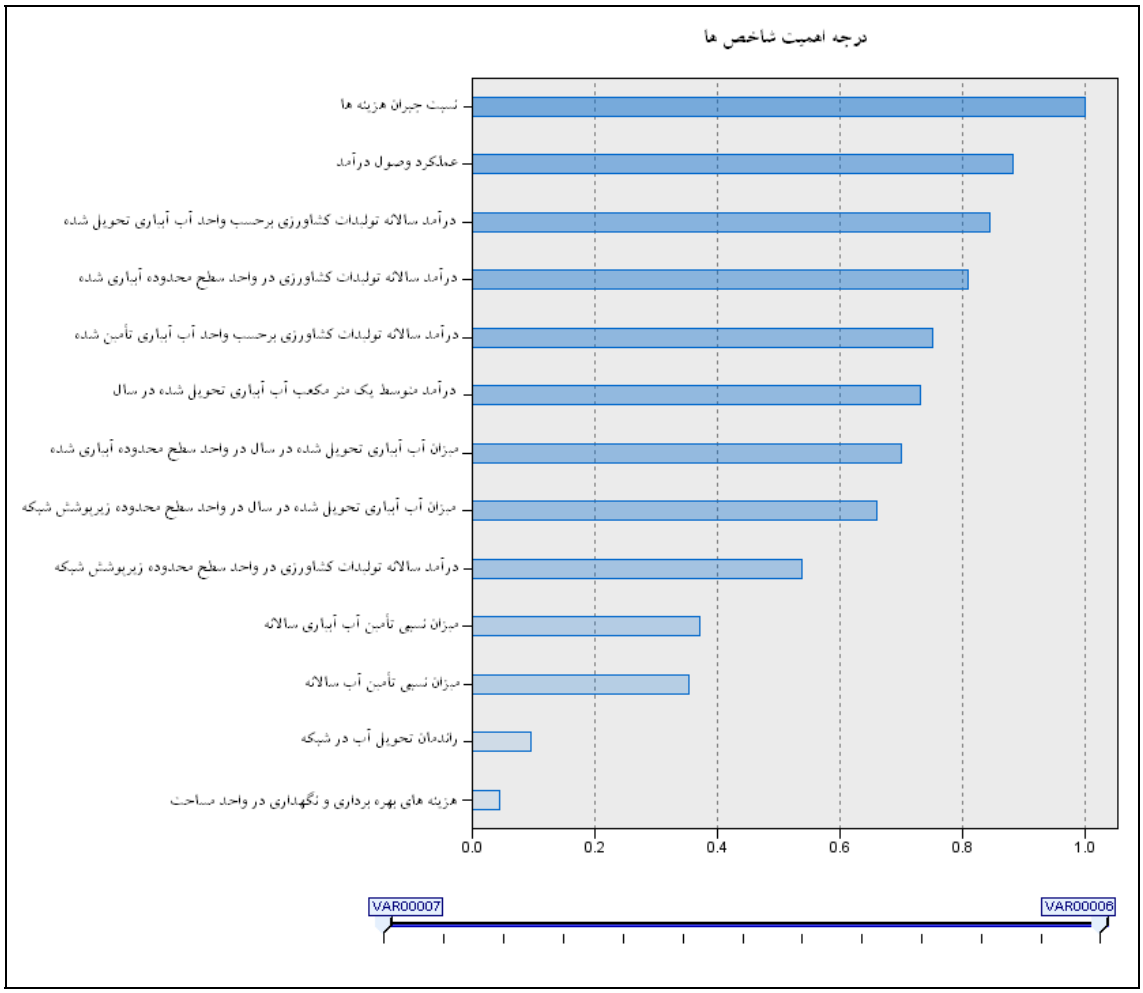
نمودار خروجی از نرم‌افزار PASW Statistics 18 که بیان‌گر ترتیب و میزان اهمیت شاخص‌های عملکرد شبکه‌های آبیاری می‌باشد، در شکل ۳ نشان داده شده است. بر این اساس شاخصی که در فرایند خوشه‌بندی بیشترین تاثیر را داشته است شاخص شماره ۶ یا نسبت جبران هزینه‌ها بوده که درجه اهمیت آن طبق خروجی‌های نرم‌افزار برابر با عدد یک می‌باشد.




**شکل ۲- مراحل انجام تحقیق**

**جدول ۳- اندازه خوشه‌های هفت‌گانه و تعداد شبکه‌های آبیاری در برگرفته هر خوشه**

| شماره خوشه | شبکه | تعداد شبکه‌های آبیاری در خوشه | اندازه خوشه (درصد) |
|---|---|---|---|
| ۱ | بهاکرا- مودا – کموبو | ۳ | ۱۶/۷ |
| ۲ | لام پائو – ماجالگون | ۲ | ۱۱/۱ |
| ۳ | وشمگیر - دانتی وادا – کوئیلو - کوپاتیت زیو - ریو مایو | ۵ | ۲۷/۸ |
| ۴ | دز - افیس دونیگر – سالدانا | ۳ | ۱۶/۷ |
| ۵ | گیلان - تجن | ۲ | ۱۱/۱ |
| ۶ | سیحان - ریویاکو آلتو | ۲ | ۱۱/۱ |
| ۷ | بنی امیر | ۱ | ۵/۶ |




**شکل ۳- درجه اهمیت شاخص‌های عملکرد شبکه‌های آبیاری**

در جدول ۴ مقادیر استاندارد شده شاخص‌های عملکرد هر یک از شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه آمده است. در این جدول، شماره شاخص‌ها بر اساس جدول ۲ در نظر گرفته شده است. به‌عنوان مثال مقدار استاندارد شده شاخص میزان آب آبیاری تحویل شده در واحد سطح محدوده زیر پوشش شبکه (شاخص ۱) دو شبکه آبیاری دز و ریویاکو آلتو به‌ترتیب ۰/۹۷۹ و ۰/۹۸۱ تعیین شده است که بیان‌گر هم‌خوشه بودن این دو شبکه از نظر این شاخص خاص می‌باشد.

جدول ٤- مقادیر استاندارد شده شاخص‌های عملکرد هر یک از شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه

| | شماره شاخص عملکرد | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ |
| لام پائو | -۰/۱۳۵ | -۰/۴۳۷ | -۱/۵۵۴ | -۰/۷۹۱ | -۱/۱۵۲ | -۱/۲۰۵ | -۰/۴۲۵ | -۲/۰۹۳ | -۰/۸۰۸ | -۰/۸۰۱ | -۰/۹۳۴ | -۰/۹۶۲ | -۰/۹۲۴ |
| دز | ۰/۹۷۹ | ۱/۵۰۲ | ۰/۵۶۳ | ۳/۰۸۰ | ۲/۹۱۴ | ۰/۶۴۶ | -۰/۵۴۶ | ۰/۸۹۵ | -۰/۴۷۴ | ۱/۰۳۶ | ۱/۳۵۸ | -۰/۲۷۷ | -۰/۳۱۸ |
| سفیدرود | -۰/۵۶۸ | -۰/۶۴۴ | -۰/۲۸۸ | -۰/۲۸۲ | -۰/۲۸۱ | ۲/۳۰۹ | -۱/۱۵۰ | ۰/۴۴۶ | -۰/۳۴۵ | ۰/۱۶۹ | ۰/۳۵۵ | ۱/۰۹۲ | ۱/۱۵۷ |
| تجن | -۱/۰۲۸ | -۰/۴۲۷ | -۲/۳۱۴ | -۰/۳۸۵ | ۰/۶۱۴ | ۲/۳۳۲ | -۰/۴۸۹ | -۰/۰۹۶ | ۰/۹۷۶ | -۱/۱۲۲ | -۰/۱۲۵ | -۰/۱۰۱ | ۰/۰۹۶ |
| وشمگیر | -۰/۹۹۲ | -۰/۸۹۳ | ۱/۴۴۹ | ۰/۳۰۴ | ۱/۲۶۷ | -۰/۲۲۸ | -۰/۳۴۹ | ۰/۲۹۷ | ۰/۴۲۴ | ۱/۱۸۹ | ۱/۰۵۳ | ۰/۸۲۵ | ۰/۷۴۰ |
| سیحان | -۰/۴۰۲ | -۰/۲۸۵ | ۰/۱۴۷ | ۰/۸۳۹ | ۰/۴۹۴ | -۰/۰۹۹ | ۰/۵۳۳ | ۰/۴۲۹ | ۰/۴۲۴ | ۱/۱۳۴ | ۱/۸۲۶ | ۱/۸۹۱ | ۱/۸۹۱ |
| ماجالگون | -۰/۸۲۴ | ۰/۰۴۰ | ۰/۱۳۳ | ۰/۶۸۹ | ۰/۵۷۱ | -۰/۰۳۳ | ۰/۵۸۰ | ۱/۶۴۵ | ۰/۴۰۷ | ۱/۲۰۴ | ۰/۹۳۹ | ۱/۰۷۶ | ۱/۰۹۲ |
| دانتی وادا | -۰/۳۶۶ | -۰/۴۷۱ | ۱/۲۰۱ | ۰/۲۲۸ | ۰/۱۸۴ | ۱/۰۸۱ | ۰/۵۳۱ | ۰/۵۹۹ | ۰/۷۳۹ | ۰/۸۱۵ | ۰/۸۴۱ | ۰/۷۳۴ | ۰/۷۹۰ |
| بهاکرا | -۰/۷۴۹ | ۱/۱۵۲ | ۰/۵۵۶ | ۱/۴۰۲ | ۰/۷۶۵ | ۰/۶۷۸ | ۱/۱۱۵ | ۰/۵۹۸ | ۰/۵۷۶ | ۰/۶۹۸ | ۰/۹۷۹ | ۰/۱۷۹ | ۰/۱۳۱ |
| مودا | -۰/۴۱۰ | -۰/۹۳۰ | ۱/۳۸۳ | -۰/۹۹۵ | ۱/۳۴۶ | ۱/۰۲۱ | ۰/۱۳۴ | ۰/۵۹۹ | ۰/۵۱۴ | ۰/۵۵۰ | ۰/۲۷۰ | ۱/۳۲۰ | ۱/۱۲۳ |
| کموبو | -۰/۰۵۳ | -۰/۴۰۸ | ۰/۲۹۸ | ۰/۰۲۴ | ۰/۸۶۲ | ۱/۲۰۵ | ۳/۳۳۴ | ۲/۰۹۳ | ۰/۸۰۸ | ۰/۵۳۰ | ۰/۱۰۰ | ۰/۲۹۳ | ۰/۲۶۹ |
| بنی امیر | -۰/۶۴۸ | -۰/۸۹۴ | -۰/۰۴۹ | ۱/۱۹۹ | ۱/۰۵۵ | ۰/۴۶۴ | ۰/۷۲۶ | ۰/۸۹۴ | ۳/۵۰۷ | ۰/۵۱۶ | ۰/۳۳۳ | ۲/۳۳۳ | ۲/۲۸۰ |
| افیس دونیگر | ۱/۹۸۶ | ۲/۱۱۸ | -۰/۵۰۹ | ۰/۱۲۶ | ۰/۲۰۳ | ۰/۰۹۹ | ۰/۶۰۷ | ۰/۷۳۰ | -۰/۳۱۵ | -۰/۲۰۳ | -۰/۳۰۷ | -۰/۱۰۷۶ | -۱/۰۷۸ |
| ریویاکو آلتو | ۰/۹۸۱ | ۱/۱۲۱ | -۰/۴۴۷ | ۰/۴۳۱ | -۰/۱۸۴ | -۰/۶۷۱ | ۰/۰۵۱ | ۰/۱۴۸ | -۰/۶۰۹ | ۲/۶۹۲ | ۲/۶۷۰ | ۰/۴۰۷ | ۰/۴۶۹ |
| کوئیلو | -۰/۰۲۰ | -۰/۳۳۱ | ۰/۶۸۳ | ۰/۱۲۶ | -۰/۱۸۵ | ۰/۱۸۵ | ۰/۳۰۰ | ۰/۸۹۵ | ۰/۵۹۹ | -۰/۰۷۷ | -۰/۳۳۹ | -۰/۲۷۷ | -۰/۳۲۶ |
| سالدانا | ۲/۷۱۲ | ۱/۹۰۰ | ۰/۵۹۱ | ۱/۰۴۳ | ۱/۰۷۵ | ۰/۵۶۳ | ۰/۸۸۷ | ۱/۲۰۲ | -۰/۰۰۸ | ۰/۸۱۶ | ۰/۱۸۰ | -۰/۸۴۸ | -۰/۸۷۸ |
| کوپاتیت زیو | -۰/۰۵۸ | ۰/۸۷۵ | ۱/۵۵۳ | ۰/۶۳۵ | -۰/۰۱۰ | -۰/۳۹۲ | -۰/۸۴۵ | -۰/۱۵۷ | -۰/۶۸۵ | -۰/۶۸۵ | -۰/۳۵۰ | -۰/۸۵۸ | -۰/۹۰۸ |
| ریو مایو | -۰/۵۲۰ | -۰/۶۸۴ | -۰/۴۹۷ | -۰/۴۸۵ | -۰/۰۱۱ | -۰/۰۱۵ | -۰/۲۷۳ | ۰/۷۴۵ | ۰/۳۵۱ | -۰/۶۴۸ | -۰/۶۸۵ | -۰/۳۹۱ | -۰/۳۶۱ |

## بررسی خوشه‌های هفت‌گانه

با استفاده از جدول ۳ می‌توان دریافت که هر یک از شبکه‌های مورد مطالعه در کدام یک از خوشه‌های هفت‌گانه قرار دارد. با مقایسه شبکه‌های موجود در هر خوشه و مقایسه خوشه‌های مختلف با یکدیگر، شباهت‌ها و تفاوت‌هایی که باعث تشکیل خوشه‌ها و قرارگیری هر شبکه آبیاری در خوشه‌ای خاص می‌شود، آشکار می‌شود. بدیهی است که شباهت‌ها و اختلافات موجود میان شبکه‌ها، همان نقاط قوت و ضعفی است که در ابتدای امر و به هنگام تعریف پروسه ارزیابی مقایسه‌ای شبکه‌های آبیاری و زهکشی با استفاده از روش خوشه‌بندی به آن‌ها اشاره شد و کشف آن‌ها هدف اصلی این تحقیق می‌باشد. جدول ۵ مراکز خوشه‌ها در مورد هر یک از شاخص‌های ارزیابی عملکرد را به‌دست می‌دهد که مرجعی برای تحلیل خوشه‌های هفت‌گانه به‌شمار می‌رود. مراکز خوشه‌ها برابر با میانگین شاخص‌های عملکرد شبکه‌های موجود در هر خوشه می‌باشد. در زیر به بررسی هر خوشه پرداخته می‌شود.

## خوشه اول

اولین خوشه متشکل از شبکه‌های مودا و کموبو از مالزی و بهاکرا از هند می‌باشد. در مقایسه با دیگر خوشه‌ها، خوشه یک دارای بیشترین راندمان تحویل آب در شبکه (۰/۷۵) است که می‌توان دلیل آن را استفاده از آب برگشتی در شبکه‌های مودا و کمبو، پوشش‌دار بودن ۱۰۰ درصدی کانال‌ها در شبکه بهاکرا، استفاده ابنیه هیدرولیکی مناسب بر روی کانال اصلی و کانال‌های درجه دوم به‌عنوان ابزارهای تنظیم‌کننده در شبکه مودا و استفاده مطلوب از سرریزهای عریض در کانال‌های فرعی و همچنین کنترل جریان آب در پایین‌دست کانال اصلی در شبکه کمبو دانست. عملکرد شبکه آبیاری بهاکرا با وجود پوشش ۱۰۰ درصدی کانال‌ها، هم سطح شبکه‌های مودا و کمبو قرار گرفته است که در هیچ‌یک از این دو شبکه، مسیر کانال‌های اصلی دارای پوشش نمی‌باشند. در شبکه بهاکرا هیچ‌گونه ابزار تنظیم‌کننده‌ای بعد از انشعابات از کانال اصلی وجود نداشته و تمامی تخلیه کننده‌ها بدون دریچه می‌باشند هر چند که علاوه بر کل شبکه اصلی، ۵۰ در صد از کانال‌های شبکه فرعی انتقال آب این شبکه دارای پوشش بتنی هستند.

از دیگر تفاوت‌هایی که این خوشه با سایر خوشه‌ها دارد، بالا بودن هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری در واحد مساحت شبکه‌های آبیاری آن (۰/۶۹ دلار در هکتار) است. در شبکه‌های مالزیایی موجود در این خوشه به دلیل استفاده از آب برگشتی و یا به عبارتی استفاده مجدد از آب زهکشی خارج شده از اراضی، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سالیانه در مقایسه با دیگر شبکه‌های مورد مطالعه بیشتر است زیرا برگرداندن آب خارج شده از انتهای اراضی به مزارع در این دو شبکه به‌صورت ثقلی امکان‌پذیر نخواهد بود.

جدول ۵- مراکز خوشه‌های هفت‌گانه

| شاخص عملکرد | خوشه ۱ | خوشه ۲ | خوشه ۳ | خوشه ٤ | خوشه ٥ | خوشه ٦ | خوشه ۷ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| میزان آب آبیاری تحویل شده در سال در واحد سطح محدوده زیر پوشش شبکه | -۰/۴ | -۰/۴۸ | -۰/۳۷ | ۱/۸۹ | -۰/۸ | ۰/۲۹ | -۰/۶۵ |
| میزان آب آبیاری تحویل شده در سال در واحد سطح محدوده آبیاری شده | -۰/۸۳ | -۰/۲۰ | -۰/۳۰ | ۱/۸۴ | -۰/۵۴ | ۰/۴۲ | -۰/۸۹ |
| راندمان تحویل آب در شبکه | ۰/۷۵ | -۰/۷۱ | ۰/۳۰ | ۰/۲۲ | -۱/۳۰ | -۰/۱۵ | -۰/۰۵ |
| میزان نسبی تأمین آب سالانه | -۰/۷۹ | -۰/۷۴ | ۰/۰۴ | ۱/۴۲ | -۰/۳۳ | ۰/۶۴ | -۱/۲ |
| میزان نسبی تأمین آب آبیاری سالانه | -۰/۹۹ | -۰/۸۶ | ۰/۱۸ | ۱/۴ | ۰/۱۷ | ۰/۱۵ | -۱/۰۶ |
| نسبت جبران هزینه‌ها | -۰/۹۷ | -۰/۶۲ | -۰/۳۰ | ۰/۴۴ | ۲/۳۲ | -۰/۳۸ | ۰/۴۶ |
| هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری در واحد مساحت | ۰/۶۹ | -۰/۵۰ | -۰/۳۴ | ۰/۳۲ | -۰/۸۲ | ۰/۲۹ | ۰/۷۳ |
| عملکرد وصول درآمد | -۱/۱ | -۱/۸۷ | ۰/۴۸ | ۰/۹۴ | ۰/۱۸ | ۰/۲۹ | ۰/۸۹ |
| درآمد متوسط یک متر مکعب آب آبیاری تحویل شده در سال | -۰/۶۳ | -۰/۶۱ | -۰/۰۱ | -۰/۲۶ | ۰/۳۲ | -۰/۰۹ | ۳/۵۱ |
| درآمد سالانه تولیدات کشاورزی در واحد سطح محدوده زیر پوشش شبکه | ۰/۱۳ | -۱/۰۰ | -۰/۶۸ | ۰/۵۵ | -۰/۴۸ | ۱/۹۱ | ۰/۵۲ |
| درآمد سالانه تولیدات کشاورزی در واحد سطح محدوده آبیاری شده | -۰/۳۸ | -۰/۹۴ | -۰/۶۵ | ۰/۴۱ | ۰/۱۱ | ۲/۲۵ | ۰/۳۳ |
| درآمد سالانه تولیدات کشاورزی برحسب واحد آب آبیاری تأمین شده | ۰/۶۰ | -۱/۰۲ | -۰/۶۲ | -۰/۷۳ | ۰/۵۰ | ۱/۱۵ | ۲/۲۳ |
| درآمد سالانه تولیدات کشاورزی برحسب واحد آب آبیاری تحویل شده | ۰/۵۱ | -۱/۰۱ | -۰/۶۲ | -۰/۷۶ | ۰/۶۳ | ۱/۱۸ | ۲/۲۸ |

در صورت مقایسه سه شبکه موجود در خوشه یک مشاهده می‌شود که هزینه‌ها در شبکه کموبو (۳/۳۳۴ دلار در هکتار) بیشتر از دو شبکه دیگر است زیرا در این طرح آب برگشتی با استفاده از پمپاژ به مزارع تحویل می‌گردد. لازم به ذکر است که در بهاکرا تنها در فصل مرطوب، پمپاژ برای تخلیه زه‌آب از شبکه زهکش‌های سطحی انجام می‌گیرد. شاخص هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری در شبکه بهاکرا در مقایسه با دیگر شبکه‌های مورد مطالعه، از مقدار کمی برخوردار است اما این به معنی پایین بودن هزینه‌ها در این شبکه نیست بلکه به دلیل وسعت زیاد شبکه، هزینه‌ها در واحد سطح کاهش یافته‌اند.

به‌نظر می‌رسد یکی از دلایلی که موجب هم‌خوشه بودن شبکه‌های کموبو، مودا و بهاکرا شده است، مشاهده بحران مالی محسوسی است که از شاخص‌های مالی برآورد شده در این شبکه‌ها نتیجه می‌شود. شاخص نسبت جبران هزینه‌ها در این شبکه‌ها در مقایسه با شبکه‌های آبیاری سایر خوشه‌ها، کمترین مقدار را دارا می‌باشد. در شبکه کموبو هیچ‌گونه آب‌بهایی دریافت نمی‌شود و میزان آب‌بهای دریافتی در دو شبکه دیگر نیز بسیار ناچیز است در حالی که در شبکه مودا این آب‌بها تنها ۰/۱ و در شبکه بهاکرا ۰/۲۹ درصد از هزینه‌های جاری شبکه را جبران می‌کند. همچنین میزان عملکرد وصول درآمد که از نسبت آب‌بهای جمع‌آوری شده به آب‌بهای مورد انتظار به‌دست می‌آید در رابطه مستقیمی با همکاری کشاورزان در پرداخت آب‌بها می‌باشد. همان‌طور که ذکر شد در شبکه کموبو سیاست جمع‌آوری آب‌بها وجود ندارد و میزان این شاخص برابر صفر است که این موضوع باعث پایین آمدن مقدار این شاخص در خوشه یک شده است. در شبکه‌های مودا و بهاکرا میزان این شاخص برابر با ۰/۵ درصد می‌باشد. از جمله تدابیر مدیریتی که می‌تواند مشکلات شبکه‌های آبیاری و زهکشی را تا حدودی مرتفع کند تشکیل انجمن‌های مصرف‌کننده آب می‌باشد که یکی از وظایف آن‌ها جمع‌آوری آب‌بهاست. در شبکه‌های مودا، کموبو و بهاکرا تشکیل این انجمن‌ها و فعالیت آن‌ها چشم‌گیر نبوده‌اند و به همین دلیل جمع‌آوری آب‌بها از کشاورزان به‌صورت مطلوب انجام نمی‌شود چراکه رابطه انجمن مصرف‌کنندگان آب با کشاورزان بسیار نزدیک و تنگاتنگ می‌باشد. پایین بودن شاخص مالی درآمد متوسط یک مترمکعب آب آبیاری تحویل شده در سال در این شبکه‌ها نیز به دلایل ذکر شده می‌باشد.

میزان نسبی تأمین آب سالانه و میزان نسبی تأمین آب آبیاری سالانه در این خوشه (به‌ترتیب ۰/۷۹- و ۰/۹۹-) نسبت به خوشه‌های دیگر، مقدار کمی را به خود اختصاص داده است که یکی از دلایل این موضوع، کشت برنج در این شبکه‌ها می‌باشد. دلیل دیگری که می‌تواند نسبت‌های تأمین آب را پایین نگه‌دارد میزان کم آب تخصیص داده شده برای آبیاری شبکه است. با وجود متوسط بارندگی بالا در شبکه‌های مودا و کموبو، مصرف آب زیاد در کشت برنج موجب

حصول مقادیر پایین برای شاخص‌های فوق‌الذکر در این شبکه‌ها گردیده است. در شبکه بهاکرا میزان بارندگی از میزان تبخیر و تعرق پایین‌تر بوده و به همین دلیل این شبکه پایین‌ترین میزان تأمین آب سالانه در خوشه یک را دارا می‌باشد اما در مورد میزان نسبی تأمین آب آبیاری سالانه مشاهده می‌شود که دو شبکه مودا و کمبو مقادیری کمتر از شبکه بهاگرا را دارا می‌باشند. چرا که در شبکه بهاکرا علاوه بر کشت برنج، کشت کتان به‌عنوان دومین کشت مهم در شبکه و کشت گندم به‌عنوان سومین کشت این شبکه موجب گشته که حجم کل آب مورد نیاز آبیاری محصولات در شبکه بهاگرا کمتر از دو شبکه دیگر باشد.

از نکات جالب توجه در این خوشه، قابل قبول بودن درآمد سالانه تولیدات کشاورزی برحسب واحد آب آبیاری تأمین شده و درآمد سالانه تولیدات کشاورزی برحسب واحد آب آبیاری تحویل شده (به‌ترتیب ۰/۶و ۰/۵۱ دلار بر مترمکعب) می‌باشد که به‌نظر می‌رسد دلیل آن استفاده از آب برگشتی در این شبکه‌هاست. از آنجا که این شبکه‌ها هم در فصل خشک و هم در فصل تر دارای کشت می‌باشند. درآمد تولیدات کشاورزی در واحد سطح محدوده زیر پوشش شبکه بیشتر از درآمد تولیدات کشاورزی در واحد سطح محدوده آبیاری شده این شبکه‌ها بوده است. شکل ۴ وضعیت مراکز شاخص‌های عملکرد را در خوشه یک در قیاس با دیگر خوشه‌ها نشان می‌دهد. مستطیل سفید رنگ موجود در مقابل هر شاخص بیان‌گر محدوده‌ای است که شاخص‌ها در خوشه‌های مختلف غالباً در آن محدوده متغیر بوده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود این مستطیل‌ها در محل صفر استاندارد شده شاخص‌ها به دو نیم تقسیم شده‌اند. نقطه مربع شکل موجود در داخل، سمت راست و یا سمت چپ این محدوده نماینده جایگاه شاخص مورد نظر از خوشه مورد بررسی می‌باشد. خط ممتدی که از این نقطه می‌گذرد نیز نمایان‌گر تمایل و یا عدم تمایل مقدار شاخص مورد نظر به محدوده تغییرات مذکور می‌باشد که این ویژگی با توجه شبکه‌های موجود در هر خوشه و مقادیر شاخص‌های آن‌ها حاصل می‌شود.

## خوشه دوم

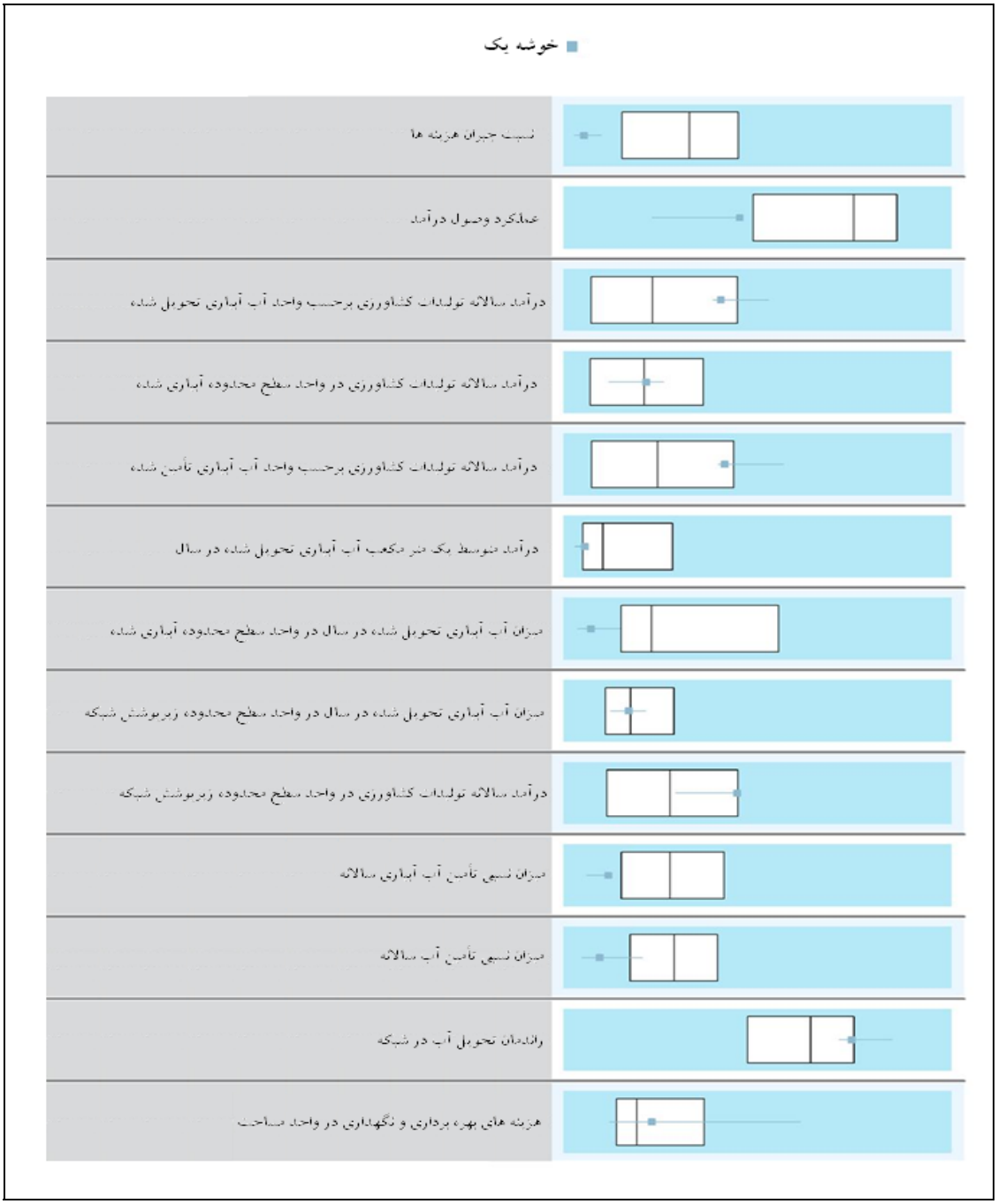
شبکه‌های آبیاری تشکیل‌دهنده خوشه دوم لام پائو از تایلند و ماجالگون از هند می‌باشند. مقایسه راندمان تحویل آب در میان تمامی شبکه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود که مقدار این شاخص در شبکه‌های دارای راندمان‌های ۹۰ درصد به بالا، بسیار به هم نزدیک بوده و تفاوت‌ها در حد صدم می‌باشد. مقدار میانگین مرکز خوشه دو در مورد شاخص راندمان تحویل پایین‌تر از برخی خوشه‌های دیگر است که البته بیان‌گر ضعف انتقال در شبکه‌های این خوشه نیست، چرا که شرایط حاکم بر این شبکه‌ها کاهش راندمان تحویل را به‌دنبال خواهد داشت که از جمله آن‌ها شرایط اقلیمی مناطقی است که این شبکه‌ها در آن واقع شده‌اند. در محدوده شبکه ماجالگون میانگین تبخیر و تعرق ۲/۵ برابر میانگین سالانه بارندگی می‌باشد و در شبکه لام پائو نیز میانگین تبخیر و تعرق بالاست. لازم به ذکر است که کانال‌های اصلی و فرعی شبکه‌های لام پائو و ماجالگون تقریباً به‌صورت کامل دارای پوشش بتنی می‌باشند و از این لحاظ هدررفت آب در آن‌ها کاهش یافته است. به هنگام مقایسه شبکه‌های موجود در خوشه دو، مشاهده می‌شود که راندمان پایین شبکه لام پائو موجب پایین آمدن راندمان تحویل این خوشه نسبت به دیگر خوشه‌هاست. موقعیت تنظیم‌کننده‌های عرضی در کانال‌ها و سازه‌های آبگیری در شبکه ماجالگون موجب گردیده که جریان‌های برداشت شده از کانال‌ها با میزان آبی که در سطح مزرعه مورد استفاده قرار گرفته هم‌خوانی نداشته باشد. در کل کنترل و اندازه‌گیری جریان آب در این شبکه ضعیف به‌نظر می‌رسد.

میزان نسبی تأمین آب سالانه و میزان نسبی تأمین آب آبیاری سالانه در این خوشه (به‌ترتیب ۰/۷۴- و ۰/۷۶-) نیز مانند خوشه شماره یک، مقدار کمی را به خود اختصاص داده است که می‌توان دلیل آن را شرایط اقلیمی شبکه‌ها دانست که در هر دو شبکه میزان تبخیر و تعرق سالانه بیشتر از میانگین بارندگی در آن‌هاست و این موضوع نه تنها نیاز آبیاری محصولات را افزایش می‌دهد، از میزان آب تأمین شده در شبکه نیز می‌کاهد و نسبت‌های مذکور در شبکه را کاهش می‌دهد. مقایسه درون خوشه‌ای نشان می‌دهد که این نسبت‌ها در مورد شبکه ماجالگون بیشتر از شبکه لام پائو می‌باشد که دلیل آن می‌تواند سطح کشت پایین این شبکه نسبت به لام پائو باشد. در شبکه لام پائو تلاش و جدیت مطلوبی در جهت انطباق آب موجود در کانال‌ها با نیازهای آبیاری صورت می‌گیرد.

نسبت جبران هزینه‌ها در خوشه دو پس از خوشه شماره یک کمترین مقدار را داراست و این به دلیل حضور شبکه لام پائو در این خوشه است که هیچ‌گونه آب‌بهایی در آن جمع‌آوری نمی‌شود و مقدار این شاخص و شاخص‌های مالی دیگر را کاهش می‌دهد. میزان نسبت جبران هزینه‌ها در مورد شبکه ماجالگون نیز از حد متعارف پایین‌تر بوده و برابر با ۰/۶۵ درصد می‌باشد. هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری در واحد سطح در شبکه‌های این خوشه نسبتاً پایین است. به‌نظر می‌رسد که اولین دلیل این امر پوشش‌دار بودن کانال‌های شبکه‌های فرعی و اصلی در این شبکه‌هاست. شباهت این دو شبکه برنامه‌ریزی و نظارت بر تخصیص آب در آن‌هاست که به صورت رایانه‌ای می‌باشد. در شبکه ماجالگون برنامه‌ریزی برای تأمین آب اراضی زراعی به گونه‌ای است که هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری در واحد سطح را افزایش می‌دهد اما به دلیل وسعت بیشتر محدوده کل شبکه نسبت به اراضی تحت کشت هزینه‌ها در هکتار سرشکن شده و زیاد به‌نظر نمی‌رسد.

**خوشه سوم**

در میان خوشه‌های تشکیل شده، خوشه شماره ۳ دارای بیشترین عضو بوده و پنج شبکه از ۱۸ شبکه مورد مطالعه در این خوشه قرار دارند. شبکه‌های وشمگیر از ایران، دانتی وادا از هند، کوئیلو از کلمبیا، کوپاتیت زیو و ریو مایو از مکزیک شبکه‌های آبیاری و زهکشی تشکیل‌دهنده خوشه سوم می‌باشند.




**شکل ٤- مراکز خوشه یک در قیاس با سایر خوشه‌ها**

مقایسه خوشه‌ها نشان می‌دهد که خوشه سه، پس از خوشه یک بهترین راندمان تحویل را داراست (۰/۳) و این به دلیل حضور شبکه‌های وشمگیر، دانتی وادا و کوپاتیت زیو با مسیرهای کانال‌های اصلی و فرعی دارای ۱۰۰ درصد پوشش بتنی در این خوشه می‌باشد (جدول ۳). لازم به ذکر است که این سه شبکه تنها شبکه‌هایی هستند که ۱۰۰ مسیر کانال‌های اصلی و فرعی آن‌ها پوشش بتنی دارند. در کنار این شبکه‌ها، شبکه کوئیلو قرار دارد که درصد پوشش بتنی در مسیرکانال‌های اصلی آن صفر و در کانال‌های فرعی آن نیز تنها ۶ درصد پوشش مشاهده می‌شود. دلیل همسان بودن راندمان این شبکه با سه شبکه مذکور استفاده از آب برگشتی در این شبکه است که البته استفاده از آب برگشتی در این شبکه به صورت ثقلی صورت می‌گیرد.

در میان خوشه‌های هفت‌گانه، در مقایسه مقادیر میزان نسبی تأمین آب سالانه و میزان نسبی تأمین آب آبیاری سالانه، خوشه سه در موقعیت متوسطی قرار دارد و میانگین مقادیر این شاخص‌ها به‌ترتیب برابر با ۲/۵ و ۲/۰ می‌باشد. این بدین معناست که سالانه ۲/۵ برابر آنچه مورد نیاز محصولات در این شبکه‌هاست، تأمین آب صورت می‌گیرد و این خود از عواملی است که تولید به ازای میزان آب مصرفی را کاهش می‌دهد و به‌عبارتی بهره‌وری آب در شبکه را پایین می‌آورد. در میان شبکه‌های خوشه سه، ریومایو پایین‌ترین میزان نسبی تأمین آب سالانه را داراست که دلیل آن استفاده از نرم‌افزار سفارش تحویل آب می‌باشد. با استفاده از این نرم‌افزار شبکه ریومایو تبدیل به یک سیستم انعطاف‌پذیر شده است که تحویل آب در آن همراه با کنترل مطلوب هیدرولیکی (ظرفیت جریان و سطح آب در کانال) صورت می‌گیرد.

بررسی شاخص‌های مالی شبکه‌های موجود در این خوشه نشان می‌دهد که کمترین نسبت جبران هزینه‌ها متعلق به شبکه دانتی واداست. معضل مهم ته‌نشینی رسوبات وارده به شبکه همراه جریان آب در شبکه‌های دانتی وادا و کوئیلو، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری این شبکه‌ها را افزایش داده است. میزان هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری در شبکه کوئیلو بسیار بیشتر از دانتی واداست به‌طوری‌که در مورد شبکه کوئیلو مقدار استاندارد شده این هزینه‌ها برابر با ۰/۳ بوده و در شبکه دانتی وادا ۰/۵۳- محاسبه شده است. این در حالی است که نسبت جبران هزینه‌ها در کوئیلو ۰/۱۸ و در دانتی وادا ۱/۰۸- می‌باشد. در شبکه کوئیلو انجمن‌های مصرف‌کنندگان آب بسیار فعال بوده و هیئت مدیره آن به راهبری‌های بازرگانی آگاه می‌باشد و کشاورزان معتقدند که آبونمان آب در ازاء ارائه خدمات مورد نیاز در زمینه توزیع آب کافی باید پرداخت شود. به علاوه آن‌ها ارجح می‌دانند که اعتبارات جمع‌آوری شده مستقیماً در اختیار انجمن مصرف‌کنندگان آب قرار داده شود نه این‌که ابتدا به تشکیلات دولتی تحویل و سپس به انجمن مصرف‌کنندگان آب بازگردد. حال آن‌که در شبکه دانتی وادا فقط یک انجمن مصرف‌کنندگان آب تشکیل شده است و انگیزه قابل توجهی برای تشکیل انجمن‌های بیشتر به چشم نمی‌خورد. در شبکه ریومایو بهره‌برداری از سیستم اصلی، به وسیله یک سازمان حرفه‌ای که تحت استخدام انجمن‌های مصرف‌کنندگان آب می‌باشد صورت می‌گیرد و بهره‌برداری از سیستم‌های توزیع نیز به عهده خود انجمن‌ها می‌باشد و این سبب شده که شاخص‌های مالی این شبکه نظیر نسبت جبران هزینه‌ها و عملکرد وصول درآمد در حد قابل قبولی واقع شود. در شبکه وشمگیر با وجود هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری بالایی که به دلیل اتمام عمر مفید سد وشمگیر، تجهیزات و تأسیسات شبکه آبیاری و همچنین تخریب دیواره‌های کانال‌ها توسط کشاورزان به‌منظور تأمین آب اراضی کم‌وسعت خود به شبکه تحمیل می‌شود، با توجه به این‌که حدود ۷۰ درصد از اراضی آن تحت مدیریت تعاونی‌ها و تشکل‌های آب‌بران می‌باشد، شاخص‌های مالی آن در حد قابل قبولی قرار دارند.

پایین بودن درآمد سالانه تولیدات کشاورزی در واحد سطح در این خوشه به دلیل وجود دو شبکه وشمگیر و دانتی وادا در این خوشه می‌باشد. در شبکه وشمگیر به دلیل عدم تحویل به موقع آب به کشاورزان در هنگام نیاز مبرم آن‌ها به آبیاری تولید در هکتار کاهش یافته است (۴ و ۶). همچنان‌که وجود انجمن‌های مصرف‌کننده آب به همراه ارائه آموزش‌های مورد نیاز به بهره‌برداران در شبکه ریومایو از همین خوشه باعث شده است که مقدار شاخص درآمد سالانه تولیدات کشاورزی در واحد سطح محدوده آبیاری شده در آن به نسبت شبکه‌های دیگر در سطح بالایی قرار گیرد. شبکه کوئیلو که انجمن مصرف‌کنندگان آب کل شبکه را راه‌اندازی می‌کنند و در اغلب کارها کارکرد مطلوبی دارند، بالاترین درآمدهای سالانه تولیدات کشاورزی را داشته است.

## خوشه چهارم

خوشه چهارم متشکل از شبکه‌های دز از ایران، افیس دونیگر از مالی و سالدانا از کلمبیا می‌باشد. خوشه چهار بالاترین میزان شاخص‌های آب آبیاری تحویل شده در سال در واحد سطح محدوده زیرپوشش شبکه، آب آبیاری تحویل شده در واحد سطح محدوده آبیاری شده، میزان نسبی تأمین آب سالانه و میزان نسبی تأمین آب آبیاری سالانه را در بین خوشه‌ها دارا می‌باشد. این امر نه تنها تأثیر مثبتی در راندمان‌ها و پارامترهای مدیریتی این شبکه ندارد بلکه هدررفت آب در این شبکه‌ها مدیریت آن‌ها را زیر سؤال می‌برد. یکی از دلایل مصرف مازاد آب در این خوشه، وجود شبکه سالداناست که در میان ۱۸ شبکه مورد مطالعه در این طرح کمترین راندمان آبیاری را داراست و از نکات منفی این شبکه انحراف آب از منبع به اراضی است که در آن‌ها هیچ‌گونه کشتی صورت نمی‌گیرد، همچنین جریان آب در

کانال اصلی شبکه سالدانا در سراسر سال به‌جای انطباق با نیاز گیاهان ثابت باقی می‌ماند. در مورد شبکه دز نیز می‌توان گفت که هدررفت آب در مزرعه‌های آن بسیار بالا گزارش شده است و احتمالاً به این دلیل است که عرضه آب در شبکه بر حسب تقاضا صورت نمی‌گیرد. بیشترین نسبت‌های تأمین آب سالانه و تأمین آب آبیاری سالانه در میان تمامی شبکه‌های طرح متعلق به شبکه دز می‌باشد و مقدار استاندارد شده این شاخص‌ها به‌ترتیب برابر با ۳/۰۸ و ۲/۹۱ بوده است که ممکن است به دلیل عدم حضور انجمن‌های بهره‌برداران و یا انجمن‌های مصرف‌کنندگان آب در این شبکه باشد. تمامی این موارد موجب این می‌شود که در هر سه این شبکه‌ها راندمان ضعیف آبیاری مشاهده شود. برخلاف دو شبکه دیگر در شبکه آفیس دونیگر عرضه بر حسب تقاضاست اما عدم استفاده مجدد از زه‌آب سطحی در سیاست‌های این شبکه، میزان آب مصرفی را افزایش می‌دهد. شبکه آفیس دونیگر نمونه بارزی از شبکه‌هایی است که می‌تواند بیشترین استفاده از آب برگشتی را داشته باشد. خاک اراضی تحت کشت در این شبکه نسبتاً سنگین بوده و نفوذپذیری آن‌ها بسیار پایین می‌باشد و به لحاظ توپوگرافی نیز مسطح می‌باشد و در نتیجه قسمت اعظمی از روان‌آب می‌تواند به درون زهکش‌های سطحی هدایت شده و به راحتی پمپاژ مجدد صورت گیرد.

نسبت جبران هزینه‌ها و عملکرد وصول درآمد در شبکه‌های این خوشه مناسب می‌باشد به‌طوری‌که این خوشه بالاترین سطح عملکرد وصول درآمد را داراست (۰/۹۴) و این نکته از جنبه‌های مثبت خوشه تلقی می‌شود و این وابسته به حضور شبکه‌های آفیس دونیگر و سالداناست که فعالیت انجمن‌های بهره‌برداران آب در آن‌ها بسیار مطلوب است. در این شبکه‌ها انجمن‌ها حقابه را جمع‌آوری می‌کنند و کارکنان متخصص را به‌کار می‌گیرند. هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری در واحد مساحت از دیگر شاخص‌های این خوشه است که بالاتر از دیگر خوشه‌ها قرار گرفته است ولی از جنبه‌های مثبت و امیدوار کننده خوشه مورد بررسی نمی‌باشد و این به دلیل حضور دو شبکه سالدانا و آفیس دونیگر است. شبکه آفیس دونیگر محیط مناسبی برای رشد گیاهان آبزی بوده و سالدانا نیز دارای رسوبات بسیار فراوان سیلت می‌باشد که هر ساله هزینه زیادی برای مرتفع کردن این مسایل صرف می‌شود.

درآمد حاصل از تولید محصول در واحد سطح این خوشه نسبت به خوشه‌های دیگر در وضعیت مناسبی قرار دارد. در شبکه سالدانا با تراکم کشتی قابل قبول مقدار استاندارد شده شاخص درآمد در واحد سطح برابر با ۰/۸۱ می‌باشد و در بین شبکه‌های دارای کشت برنج دومین رتبه تولید محصول را داراست. شبکه آفیس دونیگر نیز دارای تولید در واحد سطح بالایی می‌باشد که می‌توان آن را یکی از اثرات فعالیت و مدیریت انجمن‌های بهره‌برداران در این شبکه دانست. به علاوه در قسمت‌هایی از شبکه آفیس دونیگر کشاورزان توانسته‌اند با تسطیح اراضی بر میزان تولیدات خود بیفزایند. در میان شبکه‌های مذکور شبکه دز با مقدار استاندارد شده درآمد در واحد سطح سالانه برابر با ۱/۰۳ بیشترین راندمان تولیدات کشاورزی را داشته است حال آنکه بیشترین مصرف آب می‌بایست بیشترین تولید محصول را نیز به دنبال داشته باشد.

## خوشه پنجم

شبکه‌های تشکیل‌دهنده خوشه پنجم شبکه‌های آبیاری و زهکشی سفیدرود و تجن از ایران می‌باشند. میزان آب تحویلی در این خوشه کمتر از دیگر خوشه‌ها می‌باشد که دلیل آن کمبود آب در محدوده شبکه تجن و وسعت زیاد شبکه سفیدرود و کاهش میزان آب تحویلی در واحد سطح به‌نظر می‌رسد. با توجه به اینکه کشت غالب این شبکه‌ها برنج می‌باشد و با در نظر گرفته میزان آب تحویلی، پایین بودن نسبت تأمین آب سالانه در این خوشه قابل تصور می‌باشد. ولی به‌دلیل اقلیم حاکم بر این مناطق و بهره‌مندی از بارندگی مناسب، نسبت تأمین آب آبیاری در این شبکه‌ها در حد قابل قبول است.

در میان تمامی شبکه‌های مورد مطالعه، شبکه تجن کمترین راندمان انتقال را داراست (۲/۳۱۴-) و این به دلیل مشکلات موجود در بهره‌برداری در این شبکه می‌باشد که از جمله این معضلات عدم رعایت استاندارد بهره‌برداریست. کلیه دریچه‌های تنظیم‌کننده موجود در شبکه از نوع آمیل بوده و این دریچه‌ها طبق استانداردهای خاصی از نظر میزان بازشدگی و دبی جریان قادرند به‌طور خودکار عمل نموده، جریان را به‌صورت تنظیم‌شده هدایت کنند. اما متأسفانه به جهت فروش آب به‌صورت غیراصولی و به‌سبب عبور جریان‌هایی متفاوت با دبی طرح، با استفاده از روش‌های غیرفنی از قبیل قرار دادن کنده‌های چوبی و یا استفاده از قفل و زنجیر اقدام به کاهش و یا افزایش میزان بازشدگی دریچه‌ها کرده‌اند. معضل دیگری که از ضعف‌های این شبکه تلقی می‌شود برداشت غیراصولی آب بدون استفاده از دریچه‌های آبگیر می‌باشد. گاهاً نیز زارعان به‌طور غیرمجاز و یا با مجوز اقدام به برداشت آب با موتور پمپ و یا سیفون نموده‌اند که نه تنها با این اقدام شرایط تخریب جاده‌های دسترسی شبکه را فراهم نموده‌اند بلکه امکان اندازه‌گیری نسبت میزان جریان برداشتی نیز از مسئولان سلب شده است و این میزان برداشت‌های غیراصولی در میزان آب تحویلی به مزارع محاسبه نشده و در نهایت راندمان انتقال شبکه را کاهش می‌دهد.

هرچند که با توجه به نتایج حاصل از خوشه‌بندی شبکه‌ها، هزینه بهره‌برداری و نگهداری در خوشه پنج پایین‌ترین میزان را دارد (۰/۸۲-) اما این به دلیل حضور شبکه سفیدرود با مساحت زیاد و کاهش هزینه‌ها در واحد سطح در این شبکه می‌باشد. هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری در شبکه تجن پایین نیست و این به دلیل

عدم رعایت فرهنگ بهره‌برداری توسط بهره‌برداران و همچنین نقص‌های شبکه آبیاری می‌باشد. تلاش در خصوص فرهنگ‌سازی در میان کشاورزان این منطقه از جمله راهکارهای اساسی در کاهش معضلات و هزینه‌های این شبکه می‌باشد. از جمله نقص‌های ذکر شده نیز نبود آشغال‌گیر مناسب در مبادی ورودی و خروجی جریان می‌باشد که موجب انسداد و گرفتگی و در نتیجه افت جریان می‌گردد و حتی در برخی موارد مشکلات ناشی از انسداد به قدری حاد می‌شود که با استفاده از روش‌های معمول برطرف نمی‌شود. از طرفی با توجه به اقلیم منطقه و بارش رگبارهایی که پیامد آن ورود جریان‌های با بار رسوب بسیار بالا به داخل شبکه است، بخش‌هایی از شبکه با مشکلات رسوب‌گذاری مواجه است که خود از زمینه‌های افزایش هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری می‌باشد.

### خوشه ششم

سیحان از ترکیه و ریویاکو آلتو از جمهوری دومینیکن شبکه‌های آبیاری تشکیل‌دهنده ششمین خوشه از خوشه‌های هفت‌گانه این تحقیق می‌باشند. مسیرهای انتقال اصلی و فرعی در شبکه‌های سیحان و ریویاکو دارای پوشش بتنی هستند. اما در پروژه سیحان عدم حضور و استفاده از منبع ذخیره آب در شبکه و استفاده نادرست از سرریزهای جانبی در سازه‌های تنظیم‌کننده و در پروژه ریویاکو آلتو نیز عدم کارایی اغلب تنظیم‌کننده‌ها در کانال‌های درجه دو و ضعف ابنیه‌های کنترل در کانال اصلی موجب شده که راندمان تحویل مناسبی (۰/۱۵-) در مقایسه با دیگر خوشه‌های مورد مطالعه شاهد نباشیم.

با مقایسه شاخص‌های تولیدی و راندمان‌های مربوط به تولید کشاورزی در خوشه‌ها، مشاهده می‌شود که خوشه ششم جایگاه مناسبی دارد و دلیل آن وجود شبکه ریویاکو آلتوست. شبکه ریویاکو به واسطه کشت توتون و به دلیل قیمت بالای آن بیشترین درآمد تولیدات کشاورزی را در بین ۱۸شبکه مورد مطالعه دارا می‌باشد.

### خوشه هفتم

شبکه بنی‌امیر از کشور مراکش تنها شبکه آبیاری موجود در خوشه هفتم می‌باشد. با توجه به جدول شماره ۵ شبکه بنی‌امیر دارای کمترین حجم آب تحویلی در واحد سطح محدوده آبیاری شده و بیشترین درآمد سالانه تولیدات کشاورزی برحسب واحد آب آبیاری تحویل شده و درآمد سالانه تولیدات کشاورزی برحسب واحد آب آبیاری تأمین شده می‌باشد. در این پروژه برنامه تسطیح اراضی اجرا گردیده که در افزایش تولید زراعی و بهبود راندمان آبیاری در مزرعه تأثیرات چشم‌گیری خواهد داشت. از نکات قابل تأمل در پروژه بنی‌امیر عدم حضور انجمن مصرف‌کنندگان آب می‌باشد که با وجود فرایند تقاضا و عرضه آب در این شبکه، که در سطح بالایی از نظم و ترتیب و سازماندهی در حال اجراست، فقدان این انجمن‌ها محسوس نیست بر خلاف شبکه‌هایی که راندمان ها و شاخص‌های ضعیف آن‌ها لزوم تشکیل این انجمن‌ها را ملموس می‌کند. در بنی امیر کشاورزان مجبور به همکاری هستند اما این همکاری در ارتباط با عدم دریافت آب در خارج از ساختمان آبگیر است که در برخی از پروژه‌ها خلاف این روند مشاهده می‌شود و در پی آن متحمل هزینه‌های تعمیر و نگهداری کانال‌ها و دریچه‌های تخریب شده می‌شوند و همچنین راندمان تحویل سالانه شبکه افت خواهد کرد. در شبکه بنی امیر زمان‌بندی تحویل آب به صورت هفتگی و براساس درخواست‌های آب (از دو هفته قبل) تنظیم می‌شود. امکانات پروژه به صورت روش پیشرفته‌ای برای آماده‌سازی کشاورزان توسعه یافته است تا اینکه آن‌ها با اطلاعات خیلی ساده از زمان دریافت آب آگاه گردند. تهیه برنامه زمان‌بندی و آب قابل اعتماد، کفایت و اطمینان در تأمین آب را در اغلب اوقات فراهم می‌کند.

از دیگر نکات قابل توجه در شبکه بنی امیر که از دلایل به انحصار در آوردن خوشه هفتم توسط این شبکه می‌باشد، حرکت به سوی سیستم پایش از دور توسط این شبکه است. مجریان این پروژه مبادرت به اجرای برنامه نظارتی از راه دور نموده‌اند که این امر توان راهبران را ارتقاء بخشیده است. در این پروژه نقاط حساس راهبردی از جمله سرریزهای جانبی را مورد واررسی و نظارت دقیق‌تر قرار می‌دهند. تمامی تکنولوژی‌های مورد استفاده در پروژه بنی امیر، سیستم را متحمل هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری می‌کند که این موضوع در جدول شماره ۷ قابل مشاهده است. طبق جدول مذکور مقدار استاندارد شده شاخص هزینه بهره‌برداری و نگهداری در این خوشه برابر با ۰/۷۳ می‌باشد که بالاترین مقدار در میان خوشه‌هاست. پس از خوشه هفت، خوشه یک بالاترین هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری را داراست و این درحالیست که درآمد متوسط یک مترمکعب آب آبیاری تحویل شده در سال در این خوشه‌ها قابل قیاس نیستند، به‌طوری‌که مقدار میانگین مقادیر استاندارد شده این شاخص در خوشه هفتم برابر با ۳/۵۱ و در خوشه یک برابر ۰/۶۳- برآورد شده است.

## نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده ترکیبی از شیوه مقایسه‌ای و داده‌کاوی (خوشه‌بندی) می‌تواند به‌عنوان ابزاری توانمند و کاربردی در ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی مورد استفاده قرار گیرد. طبقه‌بندی شبکه‌های آبیاری در قالب خوشه‌های همگن بر اساس مقدار کمّی شاخص‌های ارزیابی مختلف، امکان بررسی و شناخت دقیق نقاط قوت و ضعف هر شبکه را نسبت به سایر شبکه‌ها در درون خوشه و دیگر خوشه‌ها و سنجش عملکرد این سامانه‌ها را تا

حد مطلوبی فراهم می‌نماید. بررسی خوشه‌های مورد مطالعه در این تحقیق نشان داد، وجود و بهره‌برداری از سیستم زه‌آب برگشتی، وجود و بهره‌برداری مناسب از سازه‌های تنظیم و تجهیزات اندازه‌گیری جریان، تسطیح اراضی، پوشش کانال‌های آبیاری و تشکل‌های فعال آب‌بران مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده سطح عملکرد تحویل آب به بهره‌برداران و اقتصاد شبکه‌های آبیاری و زهکشی می‌باشند.

## سپاسگزاری

بدینوسیله از حمایت‌های سازمان آب و برق خوزستان (طرح شماره KUI86023) و معاونت پژوهشی و فناوری پردیس ابوریحان دانشگاه تهران تشکّر و قدردانی می‌گردد.

## منابع

۱- بهره دار د.۱۳۸۶. راهنمای عملی ارزیابی عملکرد آبیاری و زهکشی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، گروه کار ارزیابی عملکرد سامانه های آبیاری و زهکشی (ترجمه).

۲- جلیلی ج.، جبلی س.ج.، قمرنیا ه.، منعم م.ج. ۱۳۸۵. ارزیابی شبکه‌های آبیاری به روشBenchmarking با تعیین ارزش نسبی شاخص‌ها. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۷، شماره ۲۹ ، ص ۸۸-۷۱.

۳- شهرابی ج. ۱۳۸۶. داده‌کاوی. جهاد دانشگاهی، واحد دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۴- عجم م.ر. ۱۳۸۳. مقایسه مدیریت بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌های آبیاری سد گلستان یک، سد کوثر و سد وشمگیر در استان گلستان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات.

۵- قاهری ع. ۱۳۸۳. راهنمای ارزیابی مقایسه‌ای و کاربرد آن در شبکه‌های آبیاری و زهکشی.کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران (ترجمه).

۶- مؤمنی ب. ۱۳۸۲. ارزیابی عملکرد شبکه آبیاری و زهکشی سد گرگان با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها (DEA). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مازندران، دانشکده علوم کشاورزی ساری، گروه مهندسی آب.

۷- نیرومند ح. ۱۳۷۸. تحلیل آماری چند متغیری کاربردی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

8-Blumenstein M. 2010. Computer Skills Development Programme PASW (SPSS) Overview. Student Learning Centre, University of Auckland.

9-Burt C.M., and Styles S.W. 1999. Modern water control and management practices in irrigation. impact on performance. Water Reports 19. 224 p. Food and Agriculture Organization of the United Nations. ISSN 1020-1203. ISBN 92-5-104282-9.

10-Cornish G.A. 2005. Performance benchmarking in the irrigation and drainage, Experiences to date and conclusions. Report OD 155.

11-Davies D.L., and Bouldin D.W. 2000. A cluster separation measure. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., 1(4): 224-227.

12-Jayatillake H.M. 2004. Application of performance assessment and benchmarking tool to help improve irrigation system performance in Sri. Irrig. and Drain. 53: 185–193.

13-Malana N.M., and Malano H.M. 2006. Benchmarking productive efficiency of selected wheat areas in Pakistan and India using data envelopment analysis. Irrig. and Drain. 55: 383–394.

14- Malano H., and Burton M. 2001. Guidelines for benchmarking performance in the irrigation and drainage sector. In: International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage. IPTRID Secretariat Food and Agriculture Organization of the United Nations, ISBN 92-5-104618-2.

15-Molden D., Sakthivadivel R., Christopher J., Perry C., and Kloezen W.H. 1998. Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems. Research report 20, Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.

16-Rodrı´guez-Dı´az J.A., Camacho-Poyato E., Lo´pez-Luque R., and Pe´rez-Urrestarazu L. 2008. Benchmarking and multivariate data analysis techniques for improving the efficiency of irrigation districts: An application in Spain. Agricultural Systems. 96: 250–259.

Journal of Water and Soil
Vol. 25, No. 5, Nov-Des 2011, p. 1042-1057

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۵، شماره ۵، آذر - دی ۱۳۹۰، ص. ۱۰۵۷-۱۰۴۲

# Performance Assessment of Some Irrigation Networks in the World Using Benchmarking and Data mining Techniques

**M. Zahmatkesh [1]- A.A. Montazar[2*]**

Received:26-7-2010
Accepted:23-7-2011

## Abstract

The objective of the present study is to assess the performance of 18 irrigation districts from ten countries in the world using the Benchmarking method and data mining analysis (cluster analysis). Irrigation networks of Dez, Sefidrood, Tajan and Voshmgir from Iran have been compared with 14 irrigation districts from nine other countries. The k- means algorithm was used to analyze the performance indicators, thereby enabling irrigation districts to be classified into seven statistically homogeneous groups. The results showed that the irrigation districts without any canal coverage and irrigation districts with 100% of concrete coverage in the main canal and 50% in the secondary canals may be classified into a homogeneous group due to drainage water recycling system. In other words, canal coverage and drainage water recycling may prepare an appropriate water delivery condition. Land-leveling plays an important role to improve yield production in the irrigation districts. Increasing 1.5 to 2 t $ha^{-1}$ in yield production for Bani amir district of Morocco and Office du niger of Mali due to the implementation of land-leveling has been experimented. The evaluation indicated that water user association (WUA) is another factor to improve the management process of the irrigation districts. The economic indicators in Voshmgir area have a high value because of the WUAs and managing around 70% of the irrigated areas by them. Lack of these organizations in the Dez irrigation district, increased the amount of annual relative irrigation supply indicator to 3.08. This indicator in Office du niger district with the WUAs is just 0.12. Benchmarking and data analysis techniques are powerful tools to evaluate efficiency in irrigation districts.

**Keywords:** Benchmarking, Cluster analysis, Data mining, Irrigation district, Performance assessment

1,2- MSc Student and Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Campus of Abouriahan, University of Tehran
(*-Corresponding Author Email: almontaz@ut.ac.ir)