مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۹/ شماره ۱/ بهار ۱۳۸۷/ص ۱۴۰-۱۲۵

تدوین مدل پشتیبانی تصمیم برای ارزیابی و بهبود عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی

معصومه خلخالی، محمدجواد منعم و کیومرث ابراهیمی*

* کارشناس ارشد پردیس ابوریحان دانشگاه تهران؛ دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس؛ و استادیار پردیس ابوریحان دانشگاه تهران.

نشانی: تهران، ص. پ. ۴۸۳۸-۱۴۱۵۵، تلفن: ۴-۴۴۱۹۴۹۱۱ (۰۲۱)، پیام‌نگار: monem_mj@modares.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۸۶/۳/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۱۱/۶

چکیده

ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی در نقاط مختلف دنیا نشانگر فاصلهٔ زیاد آنها از شرایط مطلوب است. علاوه بر مشکلات فیزیکی و بهره‌برداری از شبکه‌ها، محدودیت‌های روش‌شناسی ارزیابی عملکرد نیز موجب شده که روش‌های معمول ارزیابی عملاً در بهبود عملکرد شبکه‌ها تاثیر قابل توجهی نداشته باشند. علی‌رغم تحقیقات زیاد در جهت ارائهٔ روش‌های ارزیابی، مدیران و تصمیم‌گیران به دلیل تعدد و پیچیدگی متغیرهای موثر بر عملکرد و تنوع گزینه‌های بهبود، همچنان در انتخاب گزینه‌های برتر بهبود عملکرد با مشکل مواجه هستند. بنابراین، تعیین میزان بهبود عملکرد نسبت به تغییر عوامل تصمیم‌گیری، به منظور تعیین اولویت و انتخاب بهترین گزینه های بهبود عملکرد حائز اهمیت است. در این تحقیق یک مدل پشتیبانی تصمیم بر اساس روش تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل حساسیت آن توسعه یافته است. مدل تهیه‌شده علاوه بر ارزیابی عملکرد و تعیین استانداردها و ظرفیت‌های بهبود، با تحلیل حساسیت نتایج، میزان اثربخشی گزینه‌های بهبود و رتبه‌بندی آنها را تعیین و از آن به عنوان ابزار پشتیبانی تصمیم مدیران شبکه، برای انتخاب گزینه‌های بهبود استفاده می‌کند. مدل تهیه‌شده با استفاده از اطلاعات هشت شبکه آبیاری و زهکشی کشور اجرا گردید. که در این مقاله تنها به تشریح نتایج برای یکی از شبکه‌ها پرداخته شده است که برای دیگر شبکه‌ها نیز قابل تعمیم است. در این ارزیابی، کارایی شبکه "یک" ۰/۲ به دست آمد و مرجع آن تعیین شد و در مقایسه با مرجع مشخص گردید که این شبکه در مورد شاخص‌های "پرسنل" و "ماشین‌آلات" در مقایسه با دو شاخص دیگر "فنی" و "هزینه" عملکرد ضعیف‌تری داشته است. در بین شاخص‌های "فنی" و "هزینه" نیز کاهش "هزینه" اثر بیشتری بر بهبود عملکرد شبکه داشته است. صرفه‌جویی در مورد شاخص "ماشین‌آلات" نیز موثرتر از سایر نهاده‌های شبکه تعیین شد. با استفاده از مدل توسعه یافته و قابلیت تحلیل حساسیت در روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، می‌توان اطلاعات لازم را جهت تصمیم‌گیری در مورد گزینه های بهبود، که در دوره‌های ارزیابی ماهانه، فصلی یا سالانه به دست می‌آید، در اختیار مدیران قرار داد.

واژه‌های کلیدی

ارزیابی عملکرد، تحلیل پوششی داده‌ها، راهکارهای بهبود عملکرد، سیستم پشتیبانی تصمیم، شبکه‌های آبیاری و زهکشی

مقدمه

محدودیت منابع آب و خاک و ضعف عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی در دنیا ضرورت بهبود بهره‌وری و ارتقای عملکرد شبکه‌ها را ایجاب می‌کند. تعدد عوامل مؤثر در عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی و گستردگی تعامل آنها، مسئلهٔ ارزیابی و بهبود عملکرد را به امری پیچیده تبدیل کرده است. در این زمینه با توجه به تعدد و تنوع گزینه‌های بهبود، به‌کارگیری روش‌های موثر

© 2011,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

که قادر به تحلیل تعامل گزینه‌ها و ارائهٔ رهنمود لازم برای انتخاب گزینه‌های مناسب بهبود عملکرد باشد ضروری است.

در زمینهٔ روش‌های ارزیابی و بهبود عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی، تحقیقاتی گسترده انجام شده است. روش‌های نظری ارزیابی عملکرد در قالب روش‌های تحلیل تشخیصی[1] (Clyma *et al*., 1997)، ارزیابی سریع[2] (Chambers, 1987)، و ارزیابی چهارچوبی[3] (Small & Sevendes, 1990) معرفی شده‌اند. رویکردهای ارزیابی کمی با معرفی انواع شاخص‌ها را محققان و مؤسسات مختلف در پروژه‌های متعدد آغاز کردند که همچنان ادامه دارد (Schuurmans *et al*., 1995; Wolters & Bos, 1996; Bos, 1997; Molden & Sakthivadivel, 1998; Burt & Styles, 1999; Anon, 2000; Sam-Amoah & Gowing, 2001; Pasyar & Monem, 2006).

این تحقیقات با تدوین روش‌های کمی ارزیابی نظیر روش کلاسیک[4] (Restrepo, 1983)، ارزیابی مقایسه‌ای[5] (Anon, 2002) و روش‌های ارزیابی فازی (Malano *et al*., 1992; Heidarian *et al*., 2004) توسعه یافتند.

یکی از نقاط ضعف روش‌های معمول ارزیابی، ارائه نشدن استانداردهای عملکرد به‌صورت کمّی و تحلیلی بوده است. این ضعف موجب شده است که ظرفیت بهبود عملکرد شبکه‌ها و میزان اثربخشی راهکارهای بهبود چندان مشخص نشود. در نتیجه کاربرد انواع روش‌های پیشنهادی کمتر موجب بهبود قابل توجه عملکرد شبکه‌ها شده است.

روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA[6])که با استفاده از برنامه‌ریزی خطی، امکان تعیین استانداردهای عملکرد و میزان اثربخشی گزینه‌های بهبود را فراهم می‌آورد و در ارزیابی واحدهای مختلف تولیدی و خدماتی به کار گرفته شده بود، اخیرا برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری به کار گرفته شده است (Monem *et al*., 2003). این روش برای ارزیابی عملکرد نسبی واحدهای مختلف تصمیم‌گیری با عوامل ورودی (نهاده) و خروجی (ستاده) مشابه به‌کار می‌رود. فارل (Farrell, 1957) برای تعیین کارایی در یک سیستم با دو نهاده و یک ستاده نخستین بار از روش غیر پارامتری استفاده کرد. در این روش، به جای استفاده از یک تابع تولید از پیش تعیین شده، از نسبت ورودی‌ها به خروجی‌های مشاهده شده (کارایی) در واحدهای مختلف استفاده و مرز کارایی به عنوان مرجع تعیین می‌شود. چارنز و همکاران با استفاده از برنامه‌ریزی خطی روش فارل را برای سیستم‌هایی با نهاده و ستاده‌های چندگانه تعمیم دادند؛ مدل حاصل، CCR[7] (حرف اول نام‌های چارلز و همکاران) نام گرفت (Charnes *et al*., 1978). در پی آن مدل‌های گوناگون DEA مانند BCC[8] و AP[9] با توانایی‌های متفاوت برای انواع مسائل توسعه یافتند (Banker *et al*., 1984; Anderson & Peterson, 1993) امروزه مدل‌های DEA پاسخگوی اغلب مسائل کاربردی هستند و در سطح وسیع در ارزیابی انواع واحدهای خدماتی مانند موسسات آموزشی، بانک‌ها، دفاتر بیمه، بیمارستان‌ها، دادگاه‌ها و واحدهای تولیدی مانند نیروگاه‌ها به کار می‌روند (Alirezaee & Mehrabian, 1997). رشد گسترده و سریع DEA نشانگر قابلیت آن در حل انواع مسائل کاربردی بدون نیاز به پیش‌فرض‌های مختلف و با تکیه بر واقعیت‌های عملیاتی است. منعم و همکاران نمونه‌ای از چگونگی تعیین اثربخشی راهکارهای بهبود را در یک مطالعه موردی روی شبکه‌های آبیاری کشور با استفاده از این روش و به صورت مرحله‌ای، ارائه

1- Diagnostic Analysis
2- Rapid Appraisal
3- Framework Approach
4- Classic Approach
5- Benchmarking
6- Data Envelop Analysis
7- Charnes, Cooper, Rhodes
8- Banker, Charnes, Cooper
9- Anderson, Peterson

کرده است (Monem *et al.*, 2003; Monem & Ghodosi, 2004). پورزند و همکاران نیز از این روش جهت بررسی کمی میزان اثربخشی و کارایی شبکه آبیاری سد گرگان با در نظر گرفتن شاخص‌های محدودی از شبکه استفاده کردند (Poorzand *et al.*, 2006).

یکی از زمینه‌های مهم فناوری اطلاعات که تاثیر شگرفی بر مدیریت سامانه‌های مختلف دارد، سامانه‌های پشتیبانی تصمیم است. سامانه‌های پشتیبانی تصمیم مجموعه‌ای از فرایندها و ابزارهایی هستند که در زمینه‌های پایش، انتقال، پردازش، و تحلیل داده‌ها تسهیلات لازم را برای تصمیم‌گیری بهتر فراهم می‌کنند. با توجه به پیچیدگی مدیریت شبکه‌های آبیاری، تنوع عوامل موثر بر عملکرد آنها، و وجود گزینه‌های متعدد بهبود، که انتخاب گزینه‌های برتر را بسیار مشکل می‌کند، توسعهٔ سامانه‌های پشتیبانی تصمیم در آبیاری مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این خصوص می‌توان به سامانه‌های پشتیبانی تصمیم برای مدیریت توزیع آب آبیاری (Rey & Hemakumara, 1994) ، بهبود برنامه‌ریزی و مدیریت شبکه‌های بزرگ آبیاری (Mira *et al.*, 2000)، و برنامه‌ریزی پروژه‌های آبیاری (Sheng-Feng Kuo *et al.*, 2001)، مدیریت و استفاده موثر از آب آبیاری (Oad *et al.*, 2007) و آبیاری موثر در ریو گراند (Kinzli *et al.*, 2006)، اشاره کرد.

در این مطالعه با بهره‌گیری از نتایج تحقیقات اخیر، مدل پشتیبانی تصمیم برای ارزیابی و بهبود عملکرد شبکه‌های آبیاری مبتنی بر ارزیابی و تحلیل حساسیت در مدل‌های DEA به صورت یکپارچه تدوین و توسعه یافته است. مدل تهیه‌شده علاوه بر ارزیابی عملکرد و تعیین استانداردها و ظرفیت‌های بهبود، با استفاده از نتایج تحلیل حساسیت، میزان اثربخشی انواع گزینه‌های بهبود را مشخص کرده رتبه‌بندی آنها را به عنوان ابزار پشتیبانی تصمیم مدیران شبکه، برای انتخاب گزینه‌های بهبود تعیین می‌کند. مدل تهیه‌شده با استفاده از اطلاعات هشت شبکه آبیاری و زهکشی کشور مورد آزمون قرار گرفته و توانایی آن در تعیین میزان اثربخشی گزینه‌ها و کمک به انتخاب راهکارهای بهبود مناسب نشان داده شده است.

مواد و روش‌ها

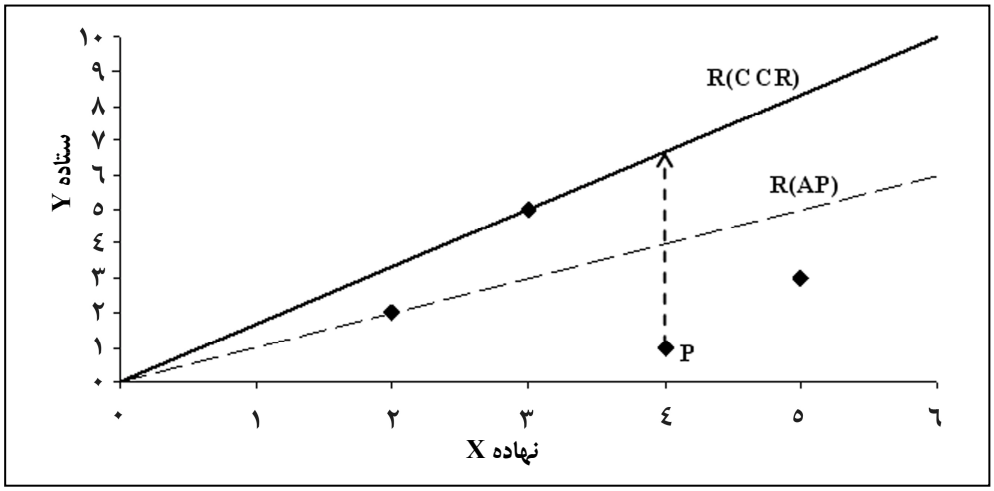
معرفی روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)

کارایی واحدهای تولیدی با توجه به رابطه بین نهاده‌ها و ستاده‌ها تعیین می‌شود که تابع تولید نام دارد. این تابع به دو صورت تعیین می‌شود: پارامتری یا غیر پارامتری. در روش اول، پارامترهای تابع تولید بر اساس پیش‌فرض‌هایی مشخص می‌شود. در روش غیر پارامتری، بدون در نظر گرفتن شکل اولیه مشخصی برای تابع تولید و حدس پارامترهای آن، مستقیما از داده‌های مشاهده‌شده (نهاده‌ها و ستاده‌ها) استفاده می‌شود که DEA از این روش استفاده می‌کند (Alirezaee & Mehrabian, 1997).

برای سیستم‌هایی که یک نهاده و یک ستاده دارند واحدهایی هستند که مقداری مساوی نهاده مصرف می‌کنند، بین این واحدها واحدی کارایی بالایی دارد که ستادهٔ بیشتری تولید می‌کند. این حالت را مدل با ماهیت ستاده‌ای می‌نامند. همچنین، بین واحدهایی که مقداری مساوی ستاده تولید می‌کنند واحدی کارایی بیشتری دارد که نهادهٔ کمتری مصرف می‌کند. به این حالت مدل با ماهیت نهاده‌ای اطلاق می‌شود. تفاوت این دو مدل در ارائه راهکارهای بهبود است. در این تحقیق برای آنکه بتوان راهکارهای بهبود را بر اساس کاهش نهاده‌ها ارائه کرد، از

ماهیت ستاده‌ای استفاده شده است و نتایج آن روند بهبود عملکرد شبکه را، در صورت کاهش نهاده‌ها، تعیین می‌کند.

برای سهولت تشریح مسئله، مثالی ساده از چهار واحد تصمیم‌گیری، با یک نهاده و یک ستاده در شکل ۱ ارائه شده است. واحدهایی دارای بیشترین کارایی هستند که با مصرف کمترین نهاده‌ها بیشترین ستاده‌ها را تولید می‌کنند. این واحدها مرز کارایی را تشکیل می‌دهند و عملکرد سایر واحدها با واحدهای متناظر (مرجع) روی این مرز سنجیده می‌شود.



شکل ۱- مرز کارایی در مدل CCR و AP با ماهیت ستاده‌ای

در مدل CCR برای ارزیابی واحد P از دیدگاه ستاده‌ای و برای مشخص‌کردن مرجع آن، از میان واحدهای دارای نهاده‌ای برابر با نهادهٔ واحد P، (X_P)، واحدی تعیین می‌شود که بیشترین ستاده را تولید کند. از این رو، (X_P) را ثابت در نظر گرفته، با ضرب Y_P در ضریب ϕ_p ($\phi_p \geq 1$) مقدار ستاده را افزایش داده بیشینه مقدار ϕ_p برای یافتن واحد مرجعی تعیین می‌شود که درون محدودهٔ امکان تولید[1] قرار می‌گیرد. بدین ترتیب واحد مرجع واحدی خواهد بود که از ترکیب خطی کلیهٔ واحدها به گونه‌ای تعیین شده است که ستادهٔ آن بیشتر یا مساوی ستادهٔ واحد مورد ارزیابی و نهادهٔ آن کمتر یا مساوی نهادهٔ واحد مورد ارزیابی باشد. ضریب ϕ_p که شاخصی از ناکارآمدی واحد مورد ارزیابی است (کارایی هر واحد با معکوس ϕ_p مشخص می‌گردد)، با استفاده از رابطهٔ ۱ و به صورت نسبت بردار ستادهٔ واحد مرجع به ستادهٔ واحد مورد ارزیابی نشان داده می‌شود که با یافتن حداکثر ممکن آن، واحد مرجع به دست می‌آید. این مسئله را برای حالت کلی n واحد، با تعدادی نهاده و ستاده می‌توان به صورت یک مسئلهٔ بهینه‌سازی به صورت رابطهٔ ۲ نوشت (Alirezaee & Mehrabian, 1997).

$$\phi_p = \frac{Y_R}{Y_P} \qquad (۱)$$

1- Production Possibility Set

$$\phi^*_p = \max \phi_p \qquad (۲)$$

مشروط بر اینکه:

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j X_j \le X_p$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j Y_j \ge \phi_p Y_p$$
$$\lambda_j \ge 0,\ j = 1,\ldots,n$$

که در آن، ϕ = شاخص ناکارآمدی واحد مورد ارزیابی؛ X_j, X_P = به ترتیب بردار نهادهٔ واحد مورد ارزیابی و سایر واحدها؛ Y_j, Y_P = به ترتیب بردار ستاده واحد مورد ارزیابی و سایر واحدها؛ λ_j = ضرایب بردار یکه واحدهای تشکیل‌دهندهٔ واحد مرجع؛ و n= تعداد واحدهاست. مقدار ستاده‌ها و نهاده‌های واحد مرجع از ترکیب خطی ستاده‌ها و نهاده‌های کلیهٔ واحدها با ضرایب λ_i تعیین می‌شود که از حل مسئلهٔ برنامه‌ریزی خطی به دست می‌آید.

در مدل CCR کارایی کلیهٔ واحدهایی که روی مرز کارایی (خط پر در شکل ۱) قرار می‌گیرند برابر یک به دست می‌آید که امکان مقایسه و رتبه‌بندی آنها را نسبت به یکدیگر سلب می‌کند. برای رفع این مشکل، مدل AP به کار گرفته می‌شود. دراین مدل برای ارزیابی و تعیین واحد مرجع واحد مورد ارزیابی، از اطلاعات سایر واحدها استفاده می‌شود و اطلاعات خود واحد مورد ارزیابی در تحلیل مسئله وارد نمی‌گردد (خط‌چین در شکل ۱). بدین ترتیب واحدهایی که روی مرز کارایی قرار گیرند (واحدهای کارا)، فراتر از مرز کارایی قرار گرفته کارایی آنها را می‌توان نسبت به یکدیگر مقایسه و آنها را رتبه‌بندی کرد. در مدل AP مسئله برنامه‌ریزی خطی به صورت رابطهٔ ۳ نوشته می‌شود (Alirezaee & Mehrabian, 1997).

$$\phi^*_p = \max \phi_p \qquad (۳)$$

مشروط بر اینکه:

$$\sum_{j=1, j\neq p}^{n} \lambda_j X_j \le X_p$$
$$\sum_{j=1, j\neq p}^{n} \lambda_j Y_j \ge \phi_p Y_p$$
$$\lambda_j \ge 0,\ j = 1,\ldots,n$$

سیستم پشتیبانی تصمیم (DSS)[1]

استفاده از سیستم‌های پشتیبانی تصمیم از این جهت با اهمیت است که فرایند دریافت اطلاعات خام و تبدیل آن به اطلاعات مدیریتی را که تصمیم‌گیری‌ها بر آن اساس است تسهیل می‌کند و سرعت می‌بخشد. در ارزیابی عملکرد شبکه‌ها که به‌طور مستمر به صورت ماهانه، فصلی، یا سالانه است، با تنظیم یک سیستم پشتیبانی تصمیم می‌توان از میان عوامل متعدد و متنوع موثر بر عملکرد شبکه، کلیدی‌ترین پارامترها را تشخیص داد و با تعیین اثر بخشی آن بر بهبود عملکرد، اطلاعات لازم را برای تصمیم‌گیری و انتخاب گزینه‌های برتر از میان گزینه‌های متعدد بهبود فراهم آورد.

برای ارزیابی هر یک از واحدها، مسئلهٔ برنامه‌ریزی خطی برای هر واحد تنظیم و حل می‌شود و واحد مرجع هر واحد و شاخص کارایی آن محاسبه می‌گردد. فاصلهٔ هر یک از واحدها تا واحد مرجع، میزان پتانسیل بهبود را نشان می‌دهد. در صورت افزایش ستاده‌های واحد مورد نظر به میزان هر یک از ستاده‌های واحد مرجع و کاهش نهاده‌های واحد مورد ارزیابی به میزان هر یک از نهاده‌های واحد مرجع، کارایی واحد مورد نظر به یک خواهد رسید. تعیین میزان افزایش هر یک از ستاده‌ها یا کاهش هر

1- Decision Support System

یک از نهاده‌ها به عنوان راهکار بهبود عملکرد جهت افزایش کارایی واحد مورد ارزیابی تا واحد مرجع معیاری جهت انتخاب گزینه‌های بهبود است. این امر برای هر یک از زیرشاخص‌های نهاده‌ها یا ستاده‌ها نیز قابل اجراست.

با توجه به استفاده از برنامه‌ریزی خطی در DEA، امکان استفاده از قابلیت تحلیل حساسیت برنامه‌ریزی خطی برای تولید اطلاعات کمی برای پشتیبانی تصمیم وجود دارد که در توسعهٔ مدل در این تحقیق به کار گرفته شده است. تحلیل حساسیت در مدل‌های برنامه‌ریزی خطی روش‌های متفاوت دارد که در مدل توسعه یافته در این تحقیق از دو روش آن استفاده شده است. در روش اول، میزان تاثیر یک واحد تغییر در هر یک از نهاده‌های تعیین‌کنندهٔ واحد مرجع بر بهبود کارایی تعیین می‌شود. بدین ترتیب میزان اثربخشی تغییر هر یک از نهاده‌ها بر عملکرد سیستم تعیین و اولویت انتخاب هر یک از گزینه‌ها به دست می‌آید. این امر برای هر یک از زیر شاخص‌های نهاده‌ها نیز قابل اجراست. در روش دوم میزان تغییر هر یک از این نهاده‌ها تا حدی که پاسخ بهینهٔ مسئله تغییر نکند تعیین می‌شود. در این حالت مقدار مجاز کاهش نهاده‌ها (صرفه‌جویی در مصرف نهاده‌ها) تا حدی که واحد مرجع آن تغییر ننماید به دست می‌آید. تعیین میزان مازاد مصرف نهاده‌ها که تاثیری بر واحد مرجع سیستم نداشته است، برای زیرشاخص‌های نهاده‌ها نیز قابل استخراج است. هر دو روش تحلیل حساسیت که در مدل توسعه‌یافته در نظر گرفته شده‌اند، اطلاعات لازم را جهت تصمیم‌گیری در مورد گزینه‌های بهبود فراهم می‌کنند.

شاخص‌ها و زیرشاخص‌های ارزیابی عملکرد[1]:

پیش از این نیز اشاره شد که روش تحلیل پوششی داده‌ها توان ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیرنده پیچیده و با نهاده و ستاده‌های مختلف را دارد. در این روش با استفاده از تعریف شاخص‌های ترکیبی امکان ارزیابی شبکه‌ها ایجاد شده است. از آنجایی که ترکیب وزنی، معمول‌ترین روش ترکیب عوامل است، در تهیه یک شاخص ترکیبی به هر عامل، ضریبی متناسب با اهمیتش نسبت داده می‌شود. ضرایب وزنی شاخص‌ها به صورت قضاوت کارشناسی یا روش‌های تحلیلی تعیین می‌شود. استفاده از قضاوت کارشناسی با توجه به تجربیات کارشناسان و شرایط محلی خاص هر منطقه اهمیت بالایی دارد، اما در صورتی که به تنهایی به کار رود تابع سلیقه افراد نیز خواهد بود. در روش‌های تحلیلی سعی شده است علاوه بر بهره‌گیری از قضاوت کارشناسان با تجربه، به کمک روش‌های ریاضی تاثیر سلیقه‌های مختلف کاهش یابد. ضرایبی که در این تحقیق برای شاخص‌ها به کار رفته، از طریق مشاوره با کارشناسان صاحب تجربه و ذی‌صلاح و روش مقایسات زوجی و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[2] (Asgharpour, 2002) تعیین شده است. بدین ترتیب که با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مختلف به کار رفته در مدل هم‌ارز می‌شوند و مقادیر آنها با یکدیگر به صورت نسبی قابل مقایسه خواهند بود. شاخص‌ها و زیرشاخص‌های به کار گرفته شده و ضرایب اهمیت آنها در جدول ۱ آورده شده است. اطلاعات مربوط به هر یک از زیرشاخص‌ها از شبکه‌های مورد ارزیابی جمع‌آوری و زیرشاخص‌ها و شاخص‌ها با استفاده از ضرائب وزنی هر یک محاسبه شده‌اند (Monem *et al*., 2003; Monem, & Ghodosi, 2004).

1- Performance Indicators
2- Analytical Hierarchy Process

جدول ۱- شاخص‌ها و زیرشاخص‌های ارزیابی عملکرد و ضرایب وزنی آنها

نوع شاخص	شاخص	ضریب وزنی	زیرشاخص	ضریب وزنی
نهاده‌ای				
	فنی	۰/۴۱۵	سطح تحت پوشش شبکه	۰/۰۸۱
			حجم آب ورودی شبکه	۰/۳۰۴
			طول و ظرفیت کانال درجه۱	۰/۱۱۴
			طول و ظرفیت کانال‌های درجه۲	۰/۰۶۸
			سازه‌های آب بند	۰/۲۰۱
			سازه‌های آبگیر۱و۲	۰/۱۵۴
			سیفون	۰/۰۴
			دراپ	۰/۰۴
	هزینه	۰/۰۵۳	هزینهٔ تعمیر و نگهداری	۱
	پرسنل	۰/۰۸۹	نوع کار	۰/۵۵۸
			تخصص	۰/۳۲
			هزینه	۰/۱۲۲
	ماشین‌آلات	۰/۰۳۵	سنگین	۰/۵۶۱
			سبک	۰/۰۸۵
			سواری	۰/۲۷۵
			موتورسیکلت	۰/۰۸
ستاده‌ای				
	سطح سرویس‌دهی	۰/۱۵۲	حجم آب تحویلی به سیستم توزیع	۰/۳۱۱
			سطح اراضی قابل آبیاری	۰/۱۹۶
			تعداد مشترکین	۰/۴۹۳
	درآمد	۰/۲۵۶	درآمد حاصل از فروش آب	۱

تدوین مدل DSS-ISPA[1]:

در مدل توسعه یافته امکان ارزیابی مقایسه‌ای چندین شبکه با استفاده از روش DEA و ارزیابی یک شبکه با گزارش شاخص‌های عملکرد به صورت کلاسیک پیش‌بینی شده است. متعاقب انتخاب روش ارزیابی عملکرد شبکه توسط کاربر، اطلاعات مربوط به هر یک از شاخص‌ها از فایل مربوطه دریافت می‌شود. برای حل مسئله برنامه‌ریزی خطی در محیط FORTRAN.90 ، زیربرنامه‌های برنامه‌ریزی خطی FORTRAN درون مدل توسعه‌یافته فراخوان و به تعداد واحدهای مورد ارزیابی اجرا می‌شود. نتایج مدل در بهینه‌سازی با نتایج نرم‌افزار LINGO 8.0 مقایسه شده‌اند و هر دو نتایج یکسانی ارائه کرده‌اند. خروجی‌های مورد نیاز جهت گزارش نتایج ارزیابی و تحلیل حساسیت و پشتیبانی تصمیم در قالب جداول مختلف ارائه

1- Decision Support System-Irrigation Systems Performance Assessment

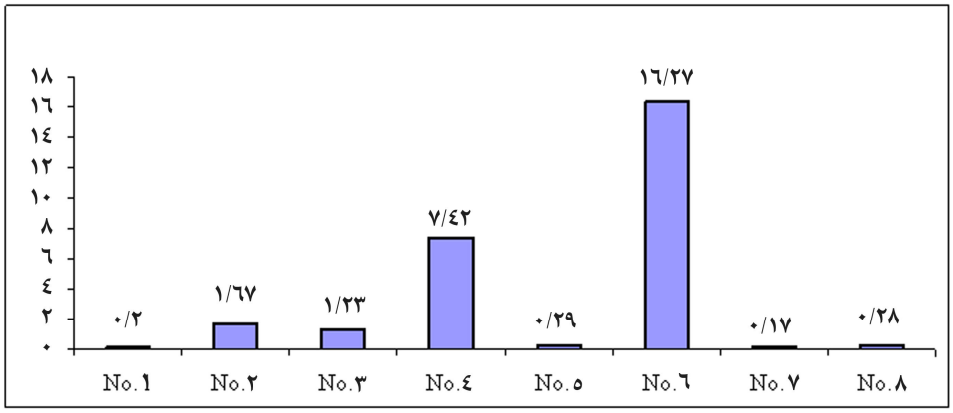
می‌شود. جدول‌های ۲ الی ۶ نمونه‌ای از خروجی‌های مدل هستند. این جدول‌ها مشتمل‌اند بر: گزارش کارایی هر یک از شبکه‌ها، تعیین واحد مرجع هر یک از شبکه‌ها، گزارش شاخص‌های واحد مرجع در مقابل شاخص‌های واحد مورد ارزیابی، اعلام میزان تغییرات مورد نیاز نهاده‌ها و ستاده‌های واحد مورد نظر جهت رسیدن به مرز کارایی، اعلام میزان بهبود کارایی در مقابل یک واحد تغییر در هر یک از نهاده‌ها و ستاده‌ها در واحد مورد ارزیابی، و اعلام میزان صرفه‌جویی در مصرف نهاده‌ها بدون تغییر کارایی واحد مورد نظر. در ادامه، به تشریح این نتایج برای یکی از شبکه‌هاپرداخته خواهد شد.

شبکه‌های آبیاری و زهکشی مورد ارزیابی

واحدهای تصمیم‌گیری مورد ارزیابی در این تحقیق هشت شبکه آبیاری بهبهان، قزوین، گرمسار، گلستان، مینـــاب، زاینـــده‌رود، مغـــان و ورامـــین هـــستند. اطلاعات این شبکه‌ها از نتایج کار منعم و همکاران (Monem & Ghodosi, 2004) اقتباس شده است و جهت سهولت ارجاع به آنها در این مقاله به همین ترتیب از شماره یک تا هشت شماره‌گذاری شده‌اند.

نتایج و بحث

با اجرای مدل بر اساس داده‌های معرفی‌شده و تحلیل عملکرد شبکه‌های مورد ارزیابی، کارایی هر یک از شبکه‌ها مطابق با شکل ۲ به دست آمد. در شکل ۲ مشخص است که شبکهٔ شش با کارایی ۱۶/۲۷ بالاترین کارایی را دارد؛ و شبکهٔ چهار با کارایی ۷/۴۲ در رتبه دوم است و شبکهٔ هفت با کارایی ۰/۱۷ کمترین کارایی را داراست.



شکل ۲- مقایسهٔ کارایی شبکه‌های مورد ارزیابی

در ایـــن قـــسمت، بـــه منظـــور تـــشریح روش کـــار و قابلیت‌های مدل توسعه یافته و پرهیز از اطالهٔ کلام، صـرفاً تجزیه و تحلیل نتایج شبکهٔ یک بـه‌صـورت مـشروح ارائـه می‌شود. تجزیه و تحلیل مشابه در مورد سایر شبکه‌ها نیـز انجام شده است که توجه علاقه‌مندان را به مرجـع مربـوط جلب می‌نماید (Khalkhali, 2005).

در مدل ارائه‌شده، پس از مـشخص‌شـدن کـارایی هـر شبکه، واحد مرجع و مقدار شاخص‌هـای آن نیـز مـشخص

می‌شود که امکان مقایسه هر یک از شاخص‌ها را با مقادیر متناظر آن در واحد مرجع فراهم می‌کند. به طور نمونه، جدول ۲ مقدار شاخص‌های شبکه یک و واحد مرجع آن را نشان می‌دهد که کارایی آن ۰/۲ به‌دست آمده است. طبق این جدول، شاخص‌های نهاده‌ای "فنی" و "هزینه" شبکهٔ یک به ترتیب برابر با ۰/۰۵۴ و ۰/۰۴۷ است که برابر با مقدار این شاخص‌ها برای شبکهٔ مرجع است. ولی شاخص‌های نهاده‌ای "پرسنل" و "ماشین‌آلات" این شبکه، به ترتیب برابر با ۰/۱۶۰ و ۰/۴۶۸ بیش از مقداری است که برای شبکهٔ مرجع به دست آمده است. شاخص‌های ستاده‌ای "درآمد" و "سطح سرویس‌دهی" این شبکه به ترتیب برابر با ۰/۰۳۶ و ۰/۰۵۲ نیز کمتر از مقداری است که برای شبکه مرجع به دست آمده است.

جدول ۲- شاخص‌های شبکه یک و مرجع آن

شاخص / شبکه	درآمد	سطح سرویس‌دهی	ماشین‌آلات	پرسنل	هزینه	فنی
مرجع	۰/۲۷۱	۰/۲۵۵	۰/۱۰۴	۰/۰۸۵	۰/۰۴۷	۰/۰۵۴
۱	۰/۰۳۶	۰/۰۵۲	۰/۴۶۸	۰/۱۶۰	۰/۰۴۷	۰/۰۵۴

مقایسهٔ شاخص‌های نهاده‌ای شبکه مرجع و شبکه یک نشان می‌دهد که این شبکه عملکرد خوبی در زمینهٔ شاخص‌های "فنی" و "هزینه" داشته است ولی در مورد شاخص‌های "پرسنل" و " ماشین‌آلات " عملکرد آن خوب نبوده و با به کارگیری مقادیر زیادی از این دو شاخص ستادهٔ کمی به دست داده است. جدول ۳ راهکارهای کاراشدن شبکهٔ یک را نشان می‌دهد. چنانچه شاخص‌های این شبکه به اندازهٔ مقادیر این جدول تغییر یابند، این شبکه به کارایی صد درصد خواهد رسید.

شاخص‌های "هزینه" و "فنی" شبکهٔ یک در وضعیت مناسبی قرار دارند. اما برای کاراشدن این شبکه شاخص‌های نهاده‌ای "پرسنل" و "ماشین‌آلات" باید به ترتیب به میزان ۰/۰۷۵ و ۰/۳۶۴ کاهش یابند و شاخص‌های ستاده‌ای یعنی "سطح سرویس‌دهی" و "درآمد" نیز به ترتیب به میزان ۰/۲۰۳ و ۰/۲۳۵ افزایش یابند. کاهش شاخص‌های نهاده‌ای و افزایش شاخص‌های ستاده‌ای گفته شده جهت کاراشدن واحد مورد نظر، با توجه به امکانات و محدودیت‌های موجود و دیدگاه مدیریت، بهتر است به ترتیب در شاخص‌ها یا عواملی از شاخص‌ها به اجرا درآید که ضرایب وزنی بالاتری دارند. بدین ترتیب میزان اصلاح شاخص‌های نامناسب جهت کاراشدن واحد مورد نظر تعیین می‌شود.

جدول ۳- راهکار کاراشدن شبکهٔ یک

شاخص / شبکه	درآمد	سطح سرویس‌دهی	ماشین‌آلات	پرسنل	هزینه	فنی
۱	+۰/۲۳۵	+۰/۲۰۳	-۰/۳۶۴	-۰/۰۷۵	۰	۰

در این تحلیل میزان تاثیر تغییر شاخص‌های مناسب، که منطبق بر واحد مرجع هستند، بر کارایی تعیین نمی‌شود. برای این منظور با استفاده از روش اول تحلیل حساسیت پیش‌بینی‌شده در مدل، میزان بهبود کارایی به ازای یک واحد کاهش شاخص‌های نهاده‌ای منطبق بر واحد مرجع، مشخص می‌شود. برای نمونه، در مورد شبکهٔ یک میزان بهبود کارایی به ازای یک واحد کاهش شاخص‌های نهاده‌ای"فنی" و "هزینه" مشخص شده است که در جدول ۴ مشاهده می‌شود. مقادیر به دست آمده میزان تاثیر تغییر این دو شاخص را که موثرترین نهاده‌ها بر عملکرد بودند تعیین و مرتبهٔ آنها را برای بهبود عملکرد رتبه‌بندی می‌کند.

جدول ۴- راهکار بهبود کارایی شبکهٔ یک به ازای یک واحد کاهش شاخص‌ها

شاخص / شبکه	ماشین‌آلات	پرسنل	هزینه	فنی
۱	۰	۰	۶۶/۰۸۹	۳۳/۷۷۵

طبق جدول ۴، مقدار بهبودکارایی به ازای یک واحد کاهش شاخص "فنی" ۳۳/۷۷۵ و برای شاخص "هزینه" ۶۶/۰۸۹ است که بیشتر است. بنابراین کاهش مصرف نهاده "هزینه" در این سیستم، نسبت به نهاده "فنی" می‌تواند تاثیر بیشتری در افزایش کارایی آن داشته باشد و برای بهبود عملکرد اولویت بالاتری دارد.

در این مدل، امکان بررسی دقیق‌تر راهکارهای بهبود عملکرد نیز پیش‌بینی شده است. بدین ترتیب که پس از مشخص‌شدن بهترین شاخص‌ها برای بهبود کارایی شبکه، تحلیل حساسیت مشابهی نیز روی زیرشاخص‌ها اجرا می‌شود تا تصمیم‌گیری در زمینهٔ بهبود عملکرد شبکه تسهیل شود. با استفاده از روش دوم تحلیل حساسیت پیش‌بینی‌شده در مدل می‌توان میزان نهاده‌های مازاد در یک واحد را تعیین کرد. میزان نهاده‌های مازاد واحد یک که با استفاده از این قابلیت مدل محاسبه شده در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- راهکارهای صرفه‌جویی در نهاده‌های شبکه یک

شاخص / شبکه	ماشین‌آلات	پرسنل	هزینه	فنی
۱	-۰/۳۶۴	-۰/۰۷۵	۰	۰

در این شبکه، میزان شاخص‌های "فنی" و " هزینه" با مقادیر متناظر برای واحد مرجع برابرند و هیچگونه مازاد مصرفی ندارند. ولی شاخص‌های نهاده‌ای "پرسنل" و "ماشین‌آلات" بیش از نهاده‌ای هستند که شبکهٔ مرجع به کار گرفته است. بنابراین، با کاهش ۰/۰۷۵ در شاخص "پرسنل" و یا ۰/۳۶۴ در شاخص "ماشین‌آلات" می‌توان نهاده کمتری مصرف کرد بدون اینکه واحد مرجع آن تغییر کند. بدین ترتیب اولویت بهبود هر یک از این شاخص‌ها تعیین می‌شود که در این حالت به ترتیب عبارت‌اند از شاخص "ماشین‌آلات" و "پرسنل". پس از مشخص‌شدن اولویت شاخص‌ها جهت بهبود عملکرد، می‌توان میزان صرفه‌جویی لازم را نیز در مورد هر یک از زیرشاخص‌ها تعیین کرد. لذا تغییر هر یک از زیرشاخص‌ها به تنهایی که موجب کاهش مقدار این شاخص تا حد مورد نظر می‌گردد و در واقع به هدر می‌رود بدون آنکه واحد مرجع را تغییر دهد، تعیین می‌شود.

جدول ٦- راهکارهای صرفه‌جویی در نهاده "ماشین‌آلات" شبکه یک

زیرشاخص / شاخص	موتورسیکلت	سبک	تردد	سنگین
ماشین‌آلات	۷۷۳/۶۷	۱۶۴/۵۵	۲۲/۹۱	۱۶/۰۴

در جدول ۶، مقدار مازاد مصرف هر یک از زیرشاخص‌های شاخص "ماشین‌آلات" شبکه یک ارائه شده است که بدون تغییر در واحد مرجع این شبکه قابل صرفه‌جویی است. با توجه به عوامل اندازه‌گیری‌شده در تعیین هر یک از زیرشاخص‌ها و ضرایب وزنی مربوط می‌توان تعداد دستگاه‌های مورد نظر مازاد و قابل صرفه‌جویی را تعیین کرد. به این ترتیب اطلاعات لازم برای تعیین اولویت صرفه‌جویی در نهاده‌های شاخص "ماشین‌آلات" این شبکه ارائه می‌شود.

نتیجه‌گیری

ارزیابی و بهبود عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی پیچیده‌ای و نیازمند توسعه و بهبود روش‌ها جهت تسهیل تصمیم‌گیری مدیران و دست‌اندرکاران است. با توجه به

ضعف روش‌های ارزیابی موجود و ناتوانی آنها در ارائهٔ استانداردهای واقع‌بینانه و توصیه راهکارهای عملی بهبود عملکرد از میان انواع راهکارها متناسب با اثربخشی آنها، روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) که می‌تواند اطلاعات لازم را جهت تصمیم‌گیری در مورد گزینه‌های بهبود عملکرد در اختیار مدیران قرار دهد، در این تحقیق به کار گرفته شده است. مدل پشتیبانی تصمیم توسعه‌یافته در این تحقیق با استفاده از قابلیت تحلیل حساسیت مدل‌های برنامه‌ریزی خطی DEA تدوین‌شده است. با استفاده از این قابلیت، اولویت اصلاح هر یک از عوامل متناسب با میزان تاثیر هر یک بر بهبود عملکرد تعیین می‌شود. که این امر برای تمامی زیرشاخص‌ها نیز قابل تعمیم است. همچنین، با تعیین میزان مازاد نهاده‌های شبکه و عوامل آنها می‌توان مقدار صرفه‌جویی در هر یک از نهاده‌ها و عوامل آنها را بدون تغییر واحد مرجع مربوط و اولویت انتخاب آنها تعیین کرد. نتایج به دست آمده قابلیت و توانایی مدل تهیه‌شده را در ارزیابی مقایسه‌ای عملکرد شبکه‌ها و ارائه راهکارهای بهبود عملکرد با بهره‌گیری از یک سیستم پشتیبانی تصمیم نشان می‌دهد.

مراجع

Alirezaee, M. R. and Mehrabian, S. 1997. Tutorial on data envelopment analysis. J. Sci. Islamic Azad University. 7(23): 459-497.

Anderson, P. and Petersen, N. C. 1993. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. Manag. Sci. 39, 1261-1264.

Anon. 2000. Guidelines on performance assessment. ICID Working Group on Irrigation and Drainage Performance. New Delhi. India.

Anon. 2002. Benchmarking performance in the irrigation and drainage sector. IPTRID. FAO. Italy.

Asgharpour, M. J. 2002. Multiple Criteria Decision Making. Tehran University Pub.

Banker, R. D., Charnes, A. and Cooper, W. W. 1984. Some methods for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. Manag. Sci. 30(9): 1078-1097.

Bos, M. G. 1997. Performance indicators for irrigation and drainage. Irrig. Drain. Sys. 11, 119-137.

Burt, C. M. and Styles, W. S. 1999. Modern water control and management practices in irrigation, impact on performance. FAO. IPTRID. World Bank. Water Report. No.19.

Chambers, R. 1987. Rapid appraisal for existing canal irrigation system. J. International Water Res. Develop. 7, 231-261.

Charnes, A., Cooper, W. W. and Rhodes, E. 1978. Measuring the efficiency of decision making units. European J. Operational Res. 2, 429-444.

Clyma, W., Lodermilk, M. and Corey, G. L. 1997. A research development process for improvement of on-farm water management. Water Manag. Tech. Report. No.47. Colorado State University. Fort Collins.

Farrell, M. 1957. The measurement of productive efficiency. J. Royal Statistical Society. Series A (General). 120, 253-281.

Heydarian, A., Monem, M. J., Fardad, H., Ghahery, A., Liaghat, A. and Teshnehlab, M. 2005. Irrigation performance assessment module by using fuzzy method. J. Agric. Sci. Natur. Resour. 12(1): 93-103. (in Farsi)

Khalkhali, M. 2005. Development of a decision support model for evaluation and improvement of performance of irrigation and drainage networks. M. Sc. Thesis. Aboureyhan Campus. University of Tehran. Tehran. Iran. (in Farsi)

Khalkhali, M., Monem, M. J. and Ebrahimi, K. 2007. Performance evaluation and improving of irrigation and drainage networks using decision support system. CD Proceedings of the Workshop on the Management, Operation and Maintenance of Irrigation and Drainage Networks Sponsored by IRNCID. Tehran. Iran. (in Farsi)

Kinzli, K. D., Oad, R., Garcia, L. and Shafike, N. 2006. Decision Support Systems for Efficient Irrigation in the Middle Rio Grande. Available on the: http://mrgcd.com/cms/kunde/rts/ mrgcdcom/docs/223162097-08-23-2007-13-08-01.htm

Malano, H. M. and GAO, G. 1992. Ranking and classification of irrigation system performance using fuzzy set theory: Case studies in Australia and China. Irrig. Drain. Sys. 6, 129-148.

Mira da Silva, I., Park, J. R., Keatinge, J. D. H. and Pinto, P. A. 2001. A Decision Support System to Improve Planning and Management in Large Irrigation Schemes, Agricultural Water Management. No. 51.

Molden, D. and Sakthivadivel, R. 1998. Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems. International Water Manag. Ins.

Monem, M. J. and Ghodosi, H. 2004. Performance evaluation and improvement of eight irrigation networks using sensitivity analysis on data envelopment analysis models. J. Agric. Sci. Natur. Resour. 11(1): 69-77. (in Farsi)

Monem, M. J., Alirezaee, M. and Salehii, A. 2003. Performance evaluation of irrigation system operation using data envelopment analysis (DEA). J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Isf. Univ. Technol. Isf. Iran. 6(4): 11-25. (in Farsi)

Oad, R., Garcia, L., Kinzli, K. and Patterson, D. 2007. Efficient Irrigation Water Management and Use in the Middlr Rio Grande. New Mexico Interstream Commission. Fy 2006 Project Report. May.

Pasyar, F. and Monem, M. J. 2006. Development of performance assessment indices of irrigation networks separating managerial and structural aspect: Case study E1R1 cannel of Dez network. CD Proceedings of National Conference on the Management of Irrigation and Drainage Networks. School of Water Science Engineering. Shahid Chamran University. Ahvaz. Iran. (in Farsi)

Poorzand, A., Momeni, B., Tabarahmadi, M. Z. and Golmayee, H. 2006. Assessing the management of operation and maintains of Gorgan dam network using data envelopment analysis method. CD Proceedings of National Conference on the Management of Irrigation and Drainage Networks. School of Water Science Engineering. Shahid Chamran University. Ahvaz. Iran. (in Farsi)

Restrepo, C. G. 1983. A methodology to evaluate the performance of irrigation systems: Application to Philippine national systems. Ph.D. Thesis. Cornell University.

Rey, J., and Hemakumara, H. M. 1994. Decision Support System (DSS) for Water Distribution Management. Working Paper. No. 31. IIMI.

Sam-Amoah, L. K. and Gowing, J. W. 2001. Schemes with minimum data on water deliveries. J. Irrig. Drain. 50, 31-39.

Schuurmans, W., Grawitz, B. and Clemmens, A. J. 1995. Guidelines for presentation of canal control algorithms. Water Resources Engineering. Proceedings of First International Conference Sponsored by the Water Resources Engineering Division of ASCE. Aug. 14-18. San Antonio. Texas. 1, 179-183.

Sheng-Feng Kuo., Merkley, G. P. and Liu, C. W. 2000. Decision support for irrigation project planning using a genetic algorithm. Agricultural Water Management. No. 45.

Small, L. E. and Sevendes, M. 1990. A framework for assessing irrigation performance. Irrig. Drain. Sys. 4, 283-312.

Wolters, W. and Bos, M. G. 1996. Statistical methods for irrigation systems water delivery performance evaluation. Irrig. Drain. Sys.

AERI JAER *Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.9/No.1/Spring 2008/P: 125-140*

Development of a Decision Support System to Evaluate and Improve the Performance of Irrigation and Drainage Networks

M. Khalkhali*, M. J. Monem and K. Ebrahimi

* Corresponding Author: Associate Professor, Tarbiat Modares University, P. O. Box: 14155-3838, Tehran, Iran. E-mail: monem_mj@modares.ac.ir

Performance evaluations on irrigation networks around the world show that they perform far below expectations. In addition to physical and managerial shortcomings, methodological difficulties contribute to poor performance. Traditional methods have only resulted in marginal performance improvements. A number of researchers are working on performance assessment methods for irrigation networks. However, because numerous components affect the performance of systems, selection of the appropriate performance improvement option is a complex issue. It is important to determine the impact of improvement options and variations in each decision component quantitatively on the degree of performance improvement. In this study, a decision support system based on data envelopment analysis (DEA) and its sensitivity analysis capability was developed. This model determines performance evaluation, performance standards and improvement potentials. The impact of different options on performance improvement is determined and ranked using sensitivity analysis. The ranked improvement options provide basic support for decision makers. The model was applied to eight irrigation networks and a sample of the results is presented. For example, the performance of sample network 1 is 0.2 and its reference unit is determined. The results show that personnel and machinery indicators perform more weakly than the technical and economic indicators. It was found that the economic indicator has a greater impact on the performance of the system than the technical indicator. Reducing the system input has more impact on performance improvement than the other indicators. The application of this decision support system, with its capability of sensitivity analysis in DEA, provides necessary information for system management to select improvement options.

Key Words: Data Envelopment Analysis Method, Decision Support System, Irrigation and Drainage Network, Performance Evaluation, Performance Improvement Approaches