تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی/جلد ۲۰/ شماره ۷۶/ پاییز ۱۳۹۸/ص ۵۶-۳۷

تعیین کارایی شبکه‌های آبیاری و زهکشی کارون بزرگ با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها با پارامترهای کنترل‌کنندهٔ میزان محافظه‌کاری

مصطفی مردانی نجف‌آبادی[1*]، عباس عبدشاهی[2]، معصومه فروزانی[3] و منیره زینالی[4]

۱ و ۲- به‌ترتیب: استادیار؛ و دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران
۳- استادیار گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران
۴- مربی دانشگاه فنی و حرفه ای ارومیه، ارومیه، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۲۱

چکیده

مطالعات نشان می‌دهد که عملکرد بسیاری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی موجود بنا به دلایلی مانند نقص در طراحی و اجرا و نبود مدیریت مناسب، کمتر از حد انتظار است. وجود عوامل مؤثر متعدد بر عملکرد این شبکه‌ها، مسئله ارزیابی را پیچیده کرده است. یکی از روش‌های بسیار کارآمد در زمینهٔ ارزیابی کارایی، روش تحلیل پوششی داده‌هاست. البته فرض دقیق و معین بودن داده‌های مورد استفاده در این روش، باعث ایجاد محدودیت‌هایی در استفاده از آن می‌شود. از این‌رو، در مطالعهٔ حاضر برای تعیین کارایی فنی، کارایی مقیاس و کارایی فنی خالص در چهار شبکه آبیاری و زهکشی کارون بزرگ با در نظر گرفتن مسئلهٔ عدم حتمیت در داده‌ها، از روش تحلیل پوششی داده‌ها با پارامترهای کنترل‌کنندهٔ میزان محافظه‌کاری استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که در سطح احتمال ۵۰ درصد انحراف از محدودیت، شبکهٔ آبیاری و زهکشی گتوند و شمال شرق اهواز به‌ترتیب با میانگین ۱ و ۰/۵۲ امتیاز، بیشترین و کمترین کارایی را دارند. بررسی علل ناکارایی در شبکه‌ها نشان می‌دهد که هزینه‌های پرسنلی و تعمیر و نگهداری بیشترین تأثیر را بر این امر داشته به‌نحوی که درصد اختلاف میان مقدار واقعی و مطلوب این دو نهاده به‌ترتیب ۴۸ و ۴۱ درصد است. برای اطمینان خاطر تصمیم‌گیرندگان در به‌کارگیری نتایج حاصل از مطالعه، با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو، اعتبار روش مذکور سنجیده شد. نتایج به‌دست آمده بیانگر توانمندی مدل تحلیل پوششی داده‌ها با پارامترهای کنترل‌کنندهٔ میزان محافظه‌کاری در مقابل داده‌های نامطمئن است.

واژه‌های کلیدی

ارزیابی عملکرد، تحلیل پوششی داده‌های استوار، شبیه‌سازی مونت‌کارلو، عدم حتمیت

مقدمه

بشر همواره با محدویت عوامل تولید و به‌تبع آن محدودیت کالاها و خدمات مواجه است و از این‌رو برای به‌دست آوردن شرایط بهتر زندگی، جز استفادهٔ بهینه از امکانات موجود و دسترسی به تولید بیشتر و با کیفیت بالاتر چاره‌ای دیگر ندارد (Mardani *et al.*, 2103). امروزه، به‌دست آوردن حداکثر عملکرد به‌ازای مقداری معین از امکانات و عوامل محدود تولید، و در یک کلمه "کارایی"، می‌تواند به روشنی به این نیاز بشر پاسخ دهد. ارزیابی کارایی سیستم‌های مدیریتی، از مباحث پیچیده در مدیریت سیستم‌های آبیاری است (Malano *et al.*, 2004). عملکرد هر سیستم آبیاری با توجه به مسائل متنوع فنی و شرایط گوناگون

* نگارنده مسئول: Email: m.mardani@Asnrukh.ac.ir
http://doi: 10.22092/idser.2018.122302.1332

فیزیکی و مدیریتی– اجتماعی سیستم‌ها، مصداقی روشن از این پیچیدگی است (Zahmatkesh & Montazer, 2011).

در سال‌های اخیر، دانشمندان و محققان روش‌های مختلفی برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری مطرح و در موارد متعدد نیز اجرا کرده‌اند. بسیاری از روش‌هایی که تاکنون برای ارزیابی شبکه‌های آبیاری ارائه شده است، نظری و غیرکمّی‌اند و اگر مانند روش‌های کلاسیک به کمّی‌سازی شاخص‌ها پرداخته‌اند، استانداردهایی برای مقایسه و بهبود عملکرد ندارند (Khalkhali *et al.*, 2008). از جمله این رویکردها، می‌توان به روش‌های تجزیه و تحلیل تشخیصی[1] (Dedrick *et al.*, 2000)، ارزیابی سریع[2] (Chambers, 1983) و ارزیابی چارچوبی[3] (Small & Svendsen, 1990) اشاره کرد.

روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)[4] که چارنز و همکاران (Charnes *et al.*, 1985) ارائه داده‌اند، روشی است ناپارامتری و نخست برای ارزیابی اقتصادی و فنی واحدهای تولیدی معرفی شد. امروزه، این روش به طور گسترده برای ارزیابی عملکرد واحدهای خدماتی، اعم از دولتی و غیردولتی، به‌کار گرفته می‌شود (Yilmaz *et al.*, 2009). در این روش، با استفاده از تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی، مرز کارایی واحدهای مختلف به‌عنوان استاندارد عملکرد تعیین و پس از سنجش کارایی واحدها نسبت به آن، به‌صورت درجهٔ کارایی مشخص می‌شود (Esfanjari-Kenari & Zibaei, 2012).

اخیراً روش‌های گوناگونی برای غلبه بر مسئلهٔ داده‌های نامطمئن در الگوی تحلیل پوششی داده‌ها ارائه شده است (Chen & Zhu, 2003; Lertworasirikul *et al.*, 2003; Hatami-Marbini *et al.*, 2017). از جمله این روش‌ها، می‌توان به تحقیقات عزیزی (Azizi, 2013) با عنوان تحلیل پوششی داده‌ها با داده‌های نامعین اشاره کرد؛ او روشی ساده برای حل مسائل تحلیل پوششی داده‌ها با داده‌های نامشخص ارائه داده و از روش برنامه‌ریزی بازه‌ای (IDEA)[5] بهره گرفته است. بابایی و همکاران (Babaei *et al.*, 2012) برای بررسی کارایی مصرف آب در محصولات زراعی شهرستان جهرم و کریمی و همکاران (Karimi *et al.*, 2008) برای بررسی کارایی تولید گندم در هشت استان کشور، از این روش استفاده کرده‌اند. به‌رغم اینکه در این دو مطالعه، روش IDEA نتایج بهتری نسبت به روش DEA داشته است، اما یکی از عمده‌ترین معایب استفاده از روش IDEA، دشواری ارزیابی و تفسیر حدود بالا و پایین کارایی است (Lertworasirikul *et al.*, 2003). برای غلبه بر این مشکل، استفاده از روش‌های دیگر همچون تحلیل پوششی داده‌های فازی (FDEA)[6] و تحلیل پوششی داده‌های تصادفی (SDEA)[7] نیز مورد توجه محققان قرار گرفته است (Tsionas, 2003; Olesen & Petersen, 2016; Hatami-Marbini *et al.*, 2017). استفاده از این دو روش نیز مشکلات خاص خود را دارد. از جمله می‌توان به مشکل اجبار در چشم‌پوشی قسمتی از اطلاعات روی ضریب‌های عدم اطمینان در استفاده از روش‌های فازی برای این نوع تحلیل‌ها اشاره کرد. در روش‌های ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها و برنامه‌ریزی تصادفی نیز مشکلاتی همچون اجبار به معین بودن توزیع داده‌ها احساس می‌شود (Mardani & Ziaei, 2015).

یکی از روش‌هایی که مسئلهٔ عدم حتمیت را در

1- Diagnostic Analysis
2- Rapid Appraisal
3- Framework Appraisal
4- Data Envelopment Analysis
5- Interval Data Envelopment Analysis
6- Fuzzy Data Envelopment Analysis
7- Stochastic Data Envelopment Analysis

روش تحلیل پوششی داده‌ها اعمال و نواقص مطالعات فوق را برطرف کرده است، روش تحلیل پوششی داده‌ها با پارامترهای کنترل‌کنندهٔ میزان محافظه‌کاری یا تحلیل پوششی داده‌های استوار (RDEA)[1] است (Mardani & Salarpour, 2015). اساس این روش، استفاده از روش بهینه‌سازی استوار در مدل برنامه‌ریزی خطی ساده تحلیل پوششی داده‌هاست. از مطالعاتی که در ایران با استفاده از روش RDEA اجرا شده است می‌توان به مطالعات مردانی و همکاران (Mardani *et al.*, 2013) در بررسی کارایی گندمکاران سیستان و مردانی و ضیایی (Mardani & Ziaei, 2015) در بررسی کارایی مزارع گندم آبی در شهرستان نیشابور اشاره کرد. مردانی و صبوحی (Sabouhi & Mardani, 2017) نیز از روش RDEA خطی برای اندازه‌گیری کارایی مقیاس و کارایی فنی گندم‌کاران ۲۳ استان کشور بهره برده‌اند.

هدف اصلی مطالعهٔ حاضر، تعیین کارایی شبکه‌های آبیاری و زهکشی کارون بزرگ، یکی از عظیم‌ترین شبکه‌های آبیاری و زهکشی کشور، است. به‌تبع این هدف، برخی از اهداف فرعی نیز بررسی شده است مانند: تفکیک کارایی محاسبه شده از دو جنبه فنی و مدیریتی، بررسی اثر اعمال عدم حتمیت در تعیین کارایی، مقایسهٔ دو روش DEA و RDEA، تشخیص عوامل نامطلوب کارایی در شبکه‌های غیرکارا، و بررسی قابلیت اعتماد به نتایج حاصل با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو.

مواد و روش‌ها

تحلیل پوششی داده‌ها

الگوی بازده ثابت نسبت به مقیاس (CRS)[2]، الگوی برنامه‌ریزی خطی است که چارنز و همکاران (Charnes *et al.*, 1985) ارائه داده‌اند. از این روش برای محاسبهٔ کارایی فنی واحدهای تصمیم‌ساز استفاده می‌شود. استفاده از این نوع الگو زمانی مناسب است که واحدهای تصمیم‌ساز در مقیاس بهینه عمل کنند (Chen & Zhu, 2003). الگوی CRS برای اندازه‌گیری کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده به‌صورت رابطهٔ ۱ است.

$$\begin{aligned} \max \quad & \theta_o = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro,} \\ \textit{subject to} \quad & \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} = 1, \\ & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0, \quad \forall j, \\ & u_r, v_i \ge 0 \qquad\qquad \forall r, i. \end{aligned} \tag{۱}$$

که در آن،

$u \in R^{s\times 1}$ و $v \in R^{m\times 1}$ = وزن‌های ورودی i و خروجی r؛ و θ_o = کارایی حاصل از برتری ورودی‌ها و خروجی‌های واحد تصمیم‌گیرندهٔ o از طریق حداکثر کردن تابع هدف در الگوی ۱ و با توجه به متغیرهای وزنی. با استفاده از دو محدودیت اول در این الگو، کارایی واحد تصمیم‌گیرندهٔ o در فاصلهٔ (۱ و ۰) قرار خواهد گرفت. بر این اساس، واحد تصمیم‌گیر دارای کارایی کامل است اگر و تنها اگر امکان بهبود استفاده از نهاده‌ها یا افزایش ستاده‌ها بدون خسارت به دیگر نهاده‌ها یا ستاده‌ها وجود نداشته باشد (Banker *et al.*, 1984). پیشتر گفته شد که استفاده از الگوی CRS زمانی مناسب است که کشاورز در مقیاس بهینه عمل کند. برای مقابله با این مشکل، الگوی بازده متغیر نسبت به مقیاس (DEA)[3] معرفی شد. بنابراین، یکسان بودن نتایج حاصل از دو الگوی بازده ثابت و بازده متغیر نسبت به مقیاس، نمایانگر رابطهٔ خطی بین نهاده‌ها و ستاده‌هاست. برای محاسبهٔ کارایی مقیاس، کافی است متغیر w را

1- Robust Data Envelopment Analysis
2- Constant Return to Scale
3- Data Envelopment Analysis

به‌سمت چپ محدودیت دوم و تابع هدف الگوی ۱ اضافه کنیم (Banker *et al.*, 1984). برای بررسی میزان مهارت کشاورزان در تولید، از کارایی فنی خالص استفاده می‌شود که از تقسیم کارایی فنی به کارآیی مقیاس به‌دست می‌آید (Yaghobi *et al.*, 2014).

تحلیل پوششی داده‌ها با پارامترهای کنترل‌کنندهٔ میزان محافظه‌کاری

با توجه به ابهام و عدم حتمیت در مقادیر ورودی (x_{ij}) و خروجی (y_{rj})، می‌توان این مقادیر را به‌صورت بازه‌ای، $x_{ij} \in \left[x_{ij}^L, x_{ij}^U\right]$ و $y_{ij} \in \left[y_{ij}^L, y_{ij}^U\right]$ تعریف کرد. در این حالت، کارایی مربوط به واحد تصمیم‌گیرندهٔ O یعنی θ_O نیز به‌صورت بازه‌ای است و حد پایین و بالای آن به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ بدبینانه‌ترین و خوشبینانه‌ترین حالت در ارزیابی واحد است. برای محاسبهٔ بازهٔ کارایی($\left[\theta_0^L, \theta_0^U\right]$)، به حل دو مدل برنامه‌ریزی خطی نیاز است که منجر به ایجاد روش IDEA شد (Smirlis *et al.*, 2006). در این روش، از θ_0^L و θ_0^U برای تصمیم‌گیری نهایی در مورد کارایی یک واحد بهره گرفته می‌شود. تحلیل کارایی در این بازه، پیچیدگی‌های خاص دارد.

در اواسط دههٔ ۱۹۹۰، بحث وجود محافظه‌کاری (در مقابل عدم حتمیت) در الگوها از طریق محدود کردن پارامترهای نامطمئن مطرح شد (El Ghaoui *et al.*, 1998; Ben-Tal & Nemirovski, 1999; 2000). در آن زمان، چارچوب محاسبات موجود در الگوهای مطرح شده، درجه دوم مخروطی[1] بود. همین امر موجب شد تا روش برنامه‌ریزی با پارامترهای کنترل‌کنندهٔ محافظه‌کاری[2] (میزان عدم حتمیت) یا بهینه‌سازی استوار ابداع شود (Bertsimas & Sim, 2004). با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیرنده که J_j^x و J_j^y به‌ترتیب مجموعه‌های مربوط به مقادیر نهاده‌ها و ستاده‌های مبهم آنهاست، می‌توان پارامترهای γ_j^x و γ_j^y را تعریف کرد که مقادیری در محدودهٔ $\left[0, J_j^x\right]$ و $\left[0, J_j^y\right]$ اختیار می‌کنند. این پارامترها، مدل DEA را در برابر تغییرات ناشی از شرایط عدم حتمیت در داده‌های ورودی و خروجی محافظت می‌کنند. فرم کلی مدل RDEA با توجه به‌روش بهینه‌سازی استوار و تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای به‌صورت مدل غیرخطی ۲ است (Shokouhi *et al.*, 2010).

$$
\begin{aligned}
\max \quad & \theta_p = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rp}^U - z_p \gamma_p^y - \sum_{r=1}^{s} P_{rp}, \\
s.t \quad & \sum_{i=1}^{m} v_i x_{iP}^L + z_p \gamma_p^x - \sum_{r=1}^{m} q_{ip} = 1 \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^L - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^U + z_j \Gamma_j + \sum_{r=1}^{s} P_{rj} + \sum_{r=1}^{m} q_{ij} \le 0 \qquad \forall j \ne p, \\
& z_j + p_{rj} \ge u_r \left(y_{rj}^U - y_{rj}^L\right), \qquad \forall r, j \\
& z_j + q_{ij} \ge v_i \left(x_{rj}^U - x_{rj}^L\right), \qquad \forall i, j \\
& \gamma_p^x + \gamma_p^y = \Gamma \\
& \theta_p \le 1, \\
& v_i, u_r \ge \varepsilon, \qquad \forall i, r \\
& z_j, q_{ij}, p_{rj} \ge 0, \quad \forall i, j, r
\end{aligned}
\qquad (۲)
$$

1- Conic Quadratic

2- Degree of Conservatism Control Parameter

که در آن،
z، q و P = متغیرهای اضافی[1] غیرمنفی؛ ε = سطح عدم اطمینان معین[2]؛ و Γ =پارامتر کنترل‌کنندهٔ میزان محافظه‌کاری است. یادآوری می‌شود اگر $J_j^x=0$ و $J_j^y=0$ باشند، متغیر z خاصیت خود را از دست می‌دهد که این امر به معنی یکسان بودن محدودیت‌های ۱ و ۲ است و از این‌رو خوشبینانه‌ترین حالت، که یکسان بودن مدل‌های RDEA و DEA است، اتفاق می‌افتد. در مقابل، اگر $J_j^x=\left|J_j^x\right|$ و $J_j^y=\left|J_j^y\right|$ باشند، آنگاه γ_j^y و γ_j^x بیشترین تأثیر را بر محدودیت‌های خود دارند و در نتیجه بدبینانه‌ترین حالت ممکن برای واحد مورد بررسی اتفاق خواهد افتاد.

بنابراین، با تغییر Γ که مجموع دو متغیر γ_j^x و γ_j^y است و در نتیجه تغییر سطوح این دو متغیر می‌توان دامنه‌ای منعطف از سطوح محافظه‌کاری در مدل RDEA را در مقابل سطوح متفاوت حفاظت از پاسخ‌های بهینه تجربه کرد. پارامتر Γ می‌تواند مقادیر متفاوتی اختیار کند که این مقادیر به احتمال انحراف محدودیت[3] iام از کران خود (p) و همچنین به تعداد پارامترهای نامطمئن (n) در محدودیت مورد نظر بستگی دارد. با جایگذاری جواب بهینهٔ x^* در رابطهٔ ۳، احتمال انحراف محدودیت iام از کران خود، به‌صورت رابطهٔ ۳ تعریف می‌شود (Bertsimas & Sim, 2004).

$$pr\left(\sum_j \tilde{a}_{ij}x^*{}_j > b_i\right) \le B(n,\Gamma_i) \qquad (۳)$$

برای محاسبهٔ Γ، یک سطح مطلوب احتمال انحراف محدودیت i از کران آن محدودیت در نظر گرفته می‌شود و با توجه به تعداد پارامترهای نامطمئن (n) در آن محدودیت، مقدار Γ محاسبه خواهد شد.

اعتبارسنجی نتایج مدل RDEA

ارزیابی نتایج حاصل از روش RDEA و بررسی میزان مقاومت این روش در مقابل تغیرات احتمالی در داده‌های ورودی و خروجی، از ضروریات ایجاد اعتماد به این نتایج است. در این راستا، از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای تولید اعداد تصادفی و ارزیابی مدل RDEA استفاده شده است. این شبیه‌سازی یک الگوریتم محاسباتی است که از نمونه‌گیری تصادفی برای محاسبهٔ نتایج استفاده می‌کند و چهار مرحلهٔ اصلی دارد. شکل ۱، مراحل این فرآیند را نشان می‌دهد. در مرحلهٔ اول، مدل RDEA به‌ازای مقادیر مختلف ε و Γ حل می‌شود و با توجه به مقادیر کارایی حاصل، کلیهٔ واحدهای تصمیم‌گیری رتبه‌بندی می‌شوند.

در مرحلهٔ دوم اعداد تصادفی با توزیع از قبل تعیین شده برای هر یک از نهاده‌ها و ستاده‌ها تولید می‌شود.

در مرحلهٔ سوم، با کمک اعداد تصادفی مرحلهٔ ۲ و وزن‌های به‌دست آمده (v_i و u_r) از حل مدل RDEA در مرحلهٔ اول، مقادیر کارایی مجدداً محاسبه و واحدهای تصمیم‌گیر مجدداً رتبه‌بندی می‌شوند.

در آخرین مرحله، میانگین درصد انطباق بین رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیر در الگوی با داده‌های اصلی و شبیه‌سازی شده، محاسبه می‌شود. درالگوهای بهینه‌سازی دارای عدم حتمیت، برای ارزیابی الگوی طراحی شده به‌منظور مقابله با تغییر پاسخ‌های بهینه در مواجهه با تغییر داده‌های الگو، از این روش فراوان استفاده می‌شود (Shokouhi *et al.*, 2010).

1- Additional Variable
2- Given Uncertainty Level
3- Probability of Constraint Violation

شکل ۱- مراحل شبیه‌سازی مونت کارلو برای اعتبارسنجی مدل RDEA

Figure 1- Monte Carlo simulation steps for validating the RDEA model

انتخاب داده‌های ورودی و خروجی

پس از بررسی داده‌ها و آمارهای موجود در شرکت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری کارون بزرگ، مشخص شد که بهترین مقیاس برای بررسی کارایی این شبکه‌ها این است که هر یک از کانال‌های درجه ۱ و ۲ در هر شبکه به‌عنوان یک واحد تصمیم‌گیرنده (DMU) مد نظر قرار گیرد. پس از تعیین کارایی این واحدها، کارایی هر یک از نواحی تحت پوشش هر شبکه با محاسبهٔ میانگین این واحدهای تصمیم‌گیرنده به‌دست می‌آید و مجدداً با میانگین‌گیری از نواحی مختلف، مقادیر کارایی هر شبکه حاصل خواهد شد. داده‌های ورودی مدل RDEA برای هر یک ازکانال‌های درجه ۱ و ۲ به‌شرح زیر جمع‌آوری و محاسبه گردید.

سطح تحت پوشش کانال‌ها: این پارامتر ورودی به تفکیک کانال‌های درجه ۱ و ۲، در داده‌های وصولی از شرکت بهره‌برداری کارون بزرگ به راحتی قابل دسترس بود.

حجم آب ورودی به کانال: دبی جریان آب برای هر یک از کانال‌های درجه ۱ و ۲ به‌صورت کامل از شرکت بهره‌برداری کارون بزرگ وصول و به‌عنوان دومین ورودی به‌کار گرفته شد.

طول- ظرفیت کانال: برای دستیابی به این پارامتر ورودی، از رابطهٔ ۴ استفاده شد (Chung *et al.*, 2009).

$$H_i = L_i^{0.129} q_i \left(\exp(q_i)\right)^{0.092} \qquad (۴)$$

که در آن،

i=کانال مورد مطالعه؛ H= پارامتر ورودی طول- ظرفیت کانال، L= طول کانال تحت بررسی؛ و q = دبی کانال.

سازه‌های آبگیر: این پارامتر ورودی از حاصل‌ضرب تعداد دریچه‌ها در ظرفیت دریچه‌ها محاسبه می‌شود. به علت فقدان اطلاعات مناسب از ظرفیت دریچه‌ها، تنها تعداد دریچه‌های هر یک از کانال‌ها مد نظر قرار گرفت.

هزینهٔ تعمیر و نگهداری: این پارامتر برای هر کانال از رابطهٔ ۵ محاسبه شد (Anon, 1980).

$$Cost_i = 0.0254 L_i q_i^{0.572} + (0.078 + 0.0135 q_i) L_i \frac{ENR}{1850} \quad (۵)$$

که در آن،

Cost= هزینـــــهٔ تعمیـــــر و نگهـــــداری کانـــــال؛ و

ENR= میزان تورم.

هزینـهٔ پرسـنلی: از رابطـهٔ ۶ بـرای محاسـبهٔ هزینـهٔ پرسـنلی هـر یـک از کانال‌هـای تحـت بررسـی اسـتفاده شد.

$$CP_i = \frac{sat_i}{Tsat_a} \times TC_a \quad (۶)$$

که در آن،

CP_i = هزینـهٔ پرسـنلی کانـال مـورد نظـر؛ sat_i = سـطح تحـت پوشـش کانـال مـورد نظـر؛ $Tsat_a$ = کـل سـطح تحـت پوشـش شـبکهٔ مـورد نظـر؛ و TC_a = هزینـهٔ پرسـنلی شـبکه مـورد نظـر. انـدیس a نیـز نشـان‌دهندهٔ کانـال مـورد نظـر و از ۱ تـا g ($a = 1,2,3,....g$) متغیر اسـت. یـادآوری مـی‌شـود کـه هزینـه‌های پرسـنلی نسـبتاً بـالایی در نیروهـای سـتادی وجـود دارد کـه در فرمـول فـوق محاسـبه نشـده اسـت. بنـابراین لازم اسـت هزینـهٔ پرسـنلی سـتادی هـر کانـال نیـز محاسـبه و بـه هزینـهٔ پرسـنلی حاصـل از رابطـهٔ ۶ اضـافه شـود. هزینـهٔ ستادی برای هر کانال از رابطهٔ ۷ محاسبه می‌شود.

$$CSP_i = \frac{sat_i}{\sum_{a=1}^{g} Tsat_a} \times TCSP \quad (۷)$$

که در آن،

CSP_i بیـانگر هزینـهٔ سـتادی پرسـنلی کانـال مـورد مطالعـه و $TCSP$ نشـان‌دهنـدهٔ هزینـهٔ سـتادی پرسـنلی کـل اسـت.هزینهٔ کـل پرسـنلی هـر کانـال از رابطهٔ ۸ به دست می‌آید.

$$TCP = CP_i + CSP_i \quad (۸)$$

تعـداد ماشـین‌آلات سـبک: روش محاسـبهٔ تعـداد ماشـین‌آلات سـبک بـرای هـر کانـال دقیقـاً ماننـد روش محاسـبهٔ هزینـهٔ پرسـنلی اسـت و از رابطـه‌هـای ۹ تـا ۱۱ به‌دست می‌آید.

$$TMS_i = \frac{sat_i}{Tsat_a} \times TMS_a \quad (۹)$$

$$TMSS_i = \frac{sat_i}{\sum_{a=1}^{g} Tsat_a} \times TMSS \quad (۱۰)$$

$$TTMS_i = TMS_i + TMSS_i \quad (۱۱)$$

که در آنها،

TMS_i = تعـداد ماشـین‌آلات سـبک هـر کانـال؛ TMS_a =تعـداد ماشـین‌آلات سـبک شـبکهٔ مـورد نظـر؛ $TMSS_i$ =تعـداد ماشـین‌آلات سـبک سـتادی هـر کانـال؛ و $TMSS$ =تعداد ماشین‌آلات سبک ستادی کل.

تعـداد ماشـین‌آلات سـنگین: ایـن پـارامتر ورودی از رابطهٔ ۱۲ محاسبه می‌شود.

$$TMG_i = \frac{sat_i}{Tsat_a} \times MG_a \quad (۱۲)$$

که در آن،

TMG_i =تعـداد کـل ماشـین‌آلات سـنگین هـر کانـال؛ و MG_a =تعداد ماشین‌آلات سنگین هر شبکه.

داده‌هـای خروجـی مـدل RDEA بـرای هـر یـک از کانال‌هـای درجـه ۱ و ۲ بـه‌شـرح زیـر جمـع‌آوری یـا محاسبه شد.

سـطح زیرکشـت: کلیـهٔ سـطوح زیرکشـت محصـولات کشـاورزی شـبکه‌ها بـه تفکیـک کانال‌هـا در دسـترس و

تنها نیاز بود تا در خصوص جمع سطح زیرکشت محصولات در زمستانی و تابستانی پردازش اولیه صورت گیرد.

ارزش محصولات تولید شده در شبکه: این پارامتر از ضرب‌کردن سه عدد(قیمت ، عملکرد و سطح زیر کشت محصول) به‌دست آمد.

شاخص درآمد حاصل از فروش آب آبیاری به کشاورزان: این شاخص با استفاده از ضرب‌کردن آب‌بها برای هر هکتار محصول و سطح زیر کشت آن به دست آمد.

در انتهای این بخش نکاتی در مورد چگونگی استفاده از داده‌های ورودی و خروجی اشاره شده در بالا اضافه می شود. در درجه اول باید ذکر شود که داده‌های ورودی و خروجی به‌کار رفته در این مطالعه به هیچ عنوان وزن‌دهی نشده‌اند. نکتهٔ مهم در مورد مدل DEA (همچنین RDEA) این است که در روند حل این مدل وزن نهاده‌ها و ستاده‌ها، بسته به اهمیت آنها، در میزان کارایی واحدهای تصمیم‌گیری تغییر می‌کنند. به‌عبارت دیگر ورودی‌های مهم‌تر وزن بیشتری نسبت به ورودی‌های با وزن کمتر می‌گیرند. و این سازوکار به این نحو اتفاق می‌افتد که ورودی‌هایی که باعث ناکارایی بیشتر می‌شوند از نظر مقدار، فاصله بیشتری با واحدهای کارا دارند و همین موضوع به‌طور خودکار باعث ایجاد وزن و اهمیت بیشتر برای آن ورودی‌ها می‌شود. بنابراین، برابر تحقیقات رمضانی‌ترخورانی و همکاران (Ramezani-Tarkhorani *et al.*, 2014)، استفاده از وزن‌هایی که خارج از مدل DEA متداول تعیین می‌شوند نادرست است و منجر به ایجاد محدودیت‌های فضایی[1] برای این مدل می‌گردند. وزن‌دهی داده‌های ورودی و خروجی برای مدل DEA در خارج از آن (تحت سناریوهای متعدد) تنها در صورتی امکان‌پذیر است که بتوان وزن‌های مشترک را برای تمام واحدهای تصمیم‌گیری ایجاد کرد. این عمل به واسطهٔ برخی از روش‌ها مانند برنامه‌ریزی چند هدفه فازی (Amiri *et al.*, 2007) یا بهینه‌سازی کارایی گروه[2] (Liu & Peng, 2008) امکان‌پذیر است. استفاده از این دو روش نیز در مواردی که بازدهی نسبت به مقیاس وجود دارد (مانند مطالعهٔ حاضر) منجر به از دست رفتن حقایقی در مورد ارزش هر یک از ورودی‌ها در برآورد کارایی واحدها خواهد شد. از این‌رو، در مطالعهٔ حاضر از وزن‌دهی خارج از مدل DEA (یا RDEA) استفاده نمی‌شود و تنها به گزارش وزن‌های شناوری که توسط خود مدل RDEA بعد از بهینه‌سازی ایجاد شده (متغیر v برای داده‌های ورودی در مدل ۲)، اکتفا می‌شود.

برای کدنویسی و حل مدل RDEA از نرم‌افزار GAMS استفاده شد. روش بهینه‌سازی انتخاب شده برای حل این مدل، CONOPT4 بود که یک بهینه‌ساز برای حل مسائل برنامه‌ریزی غیرخطی بزرگ مقیاس است. CONOPT4 بر اساس روش گرادیان کاهش یافته عمومی (GRG)[3] عمل می‌کند و شرکت مشاوره و توسعهٔ ARKI در دانمارک آن را در نرم‌افزار GAMS راه‌اندازی و توسعه داده است (Anon, 2015).

منطقهٔ مورد مطالعه

شرکت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری کارون بزرگ یکی از شرکت‌های تابع و طرف قرارداد سازمان آب و برق خوزستان است که در قالب دو قرارداد، وظیفهٔ نگهداری و بهره برداری از ۵ شبکهٔ آبیاری و زهکشی را بر عهده دارد که از رودخانهٔ کارون آبگیری می‌شوند. شبکه‌های آبیاری و زهکشی گتوند، میان‌آب شوشتر، شمال شرق اهواز، شرق

1- Space Constraints
2- Optimization of the Group's Efficiency
3- Generalized Reduced Gradient

شعیبیه، و شرق گرگر در مجموع ۷۵ هزار هکتار از اراضی را زیر پوشش دارند که از این میزان، حدود یک سوم آن متعلق به شرکت کشت و صنعت کارون و بقیه متعلق به کشاورزان و خرده مالکان است. وجود چنین وسعتی از شبکه‌های آبیاری و زهکشی که بخش وسیعی از منابع آب خوزستان را در بر می‌گیرد، نیازمند بررسی همه جانبه‌ای است برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در موضوع کارایی و عملکرد این شبکه‌ها (Dahimavi & Ahvazian, 2009).

در این مطالعه، با توجه به در دسترس بودن داده‌های مورد نیاز و در نظر گرفتن بیشترین همگنی میان شبکه‌ها، کارایی شبکه‌های آبیاری و زهکشی گتوند، شمال شرق اهواز، شرق شعیبیه و میان‌آب شوشتر محاسبه شده است. بر اساس تقسیم‌بندی شرکت بهره‌بردار، ۱۰ ناحیه تحت پوشش این چهار شبکه قرار دارد و هر ناحیه دارای تعدادی کانال درجه ۱ و ۲ است. اندازهٔ واحد تصمیم‌گیری در این مطالعه کانال‌های درجه ۱ و ۲ و در مجموع شامل ۹۰ کانال فعال است. داده‌های ورودی و خروجی مدل تحلیل پوششی داده‌ها به تفکیک کانال‌های درجه ۱ و ۲ در دسترس هست که به‌دلیل حجم زیاد این داده‌ها، به‌صورت خلاصه بر اساس نواحی ده‌گانه و چهار شبکهٔ اصلی آبیاری و زهکشی کارون بزرگ در جدول ۱ آمده است.

مجموع اراضی تحت پوشش این چهار شبکهٔ آبیاری ۳۹۱۰۹ هکتار است که بیشترین داده‌های ورودی سطح تحت پوشش در شبکهٔ آبیاری شمال شرق اهواز با ۱۷۳۰۵ هکتار و پس از آن در شبکهٔ آبیاری میان‌آب شوشتر با ۹۲۶۵ هکتار است. در مجموع، میزان آب ورودی برای کلیهٔ شبکه‌های مورد مطالعه، ۳۰۴ متر مکعب برثانیه است؛ در بین چهار شبکه، آب ورودی به شبکهٔ آبیاری گتوند، با حدود ۱۲۷ متر مکعب بر ثانیه، رتبهٔ نخست را از نظر این داده ورودی داراست. یکی از مهمترین داده‌های ورودی، مربوط است به هزینهٔ تعمیر و نگهداری شبکه‌های آبیاری که در مجموع، هزینه‌های پرسنلی و تعمیر و نگهداری، بالغ بر ۲۴۸ میلیارد ریال در سال است و رتبهٔ نخست در تخصیص این هزینه مربوط است به شبکهٔ گتوند (۱۳/۷ میلیارد ریال در سال). مهم‌ترین دادهٔ خروجی در این جدول، درآمد شبکه است. کل درآمد شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حدود ۱۴/۶۰ میلیارد ریال در سال است که شبکهٔ آبیاری گتوند با ۱۰/۵۱ میلیارد ریال در سال، دارای بالاترین درآمد حاصل از فروش آب برای شرکت بهره‌برداری از کارون بزرگ است. باید توجه داشت که این درآمد بالا (خروجی) نیاز به نهاده‌های بیشتری مانند آب ورودی، هزینه‌های پرسنلی و عملیاتی دارد.

جدول ۱- مقادیر داده‌های ورودی و خروجی مورد مطالعه به تفکیک نواحی مختلف در شرایط قطعیت

Table 1- The values of input and output data of the study by different regions under certainty

شبکه‌های آبیاری Irrigation networks	ناحیه Region	سطح تحت پوشش (هکتار) Covered area (ha)	آب ورودی (متر مکعب در ثانیه) Flow rate (cubic meter per second)	طول-ظرفیت کانال (متر) Length- of capacity channel (m)	سازه آبگیر (عدد) sluice structure (number)	هزینهٔ تعمیر و نگهداری (میلیارد ریال) Maintenance costs (Billion Rials)	هزینهٔ پرسنل (میلیارد ریال) Personnel Costs (Billion Rials)	تعداد ماشین سبک (عدد) Number of small cars (number)	تعداد ماشین سنگین (عدد) Number of heavy vehicles (number)	سطح زیر کشت (هکتار) Cropping area (ha)	ارزش محصول (میلیارد ریال) Product Value (Billion Rials)	درآمد حاصل از فروش آب (میلیارد ریال) Income from sale of water (billion rials)
		داده‌های ورودی Input data								**داده‌های خروجی Output data**		
گتوند Gotvand	گتوند Gotvand	4623	100.6	2482	60	11.15	42.31	14	7	4775	2957	0.91
	عقیلی Aghili	4226	26.8	312	66	2.55	40.92	14	16	5125	2357	9.60
	مجموع Sum	8849	127.4	2794	126	13.70	83.22	28	23	9900	5314	10.51
شمال شرق اهواز Shomal-e-Shargh-e-Ahvaz	ملاثانی Mollasani	2531	6.3	66976	44	0.96	11.82	4	2	2187	213	0.29
	ویس Veis	5255	54.1	341922	101	3.32	24.55	7	4	3795	669	0.77
	سلامات Salamat	5264	14.4	158427	87	1.99	24.59	7	4	2189	191	0.24
	ابوفاضل Abofazel	4255	11.6	79567	78	1.14	19.88	6	3	2239	92	0.15
	مجموع Sum	17305	86.3	646892	310	7.41	80.84	24	13	10411	1165	1.44
میان‌آب شوشتر Mianab-e-Shoshtar	فاز یک Phase 1	3220	44.7	657988	76	2.64	13.57	4	5	3581	672	1.43
	فاز۲ Phase 2	4157	18.1	233237	88	1.56	17.52	5	7	4343	451	0.64
	فاز۳ Phase 3	1888	12.2	136868	49	0.92	7.96	2	3	3310	345	0.42
	مجموع	9265	75.1	1028094	213	5.11	39.05	10	15	11235	1469	2.49
شرق شعیبیه Shargh-e-shoeibieh	شرق شعیبیه Shargh-e-shoeibieh	3689	15.2	267015	48	2.99	15.98	6	10	4066	377	0.15
	جمع کل Total	**39109**	**304.0**	**1944795**	**697**	**29.21**	**219.09**	**68**	**61**	**35610**	**8325**	**14.60**

نتایج و بحث

پس از فرآوری اولیهٔ داده‌های ورودی و خروجی، به حل مدل RDEA و تحلیل کارایی حاصل از اجرای این مدل پرداخته شد. مقادیر سه نوع کارایی فنی، کارایی مقیاس و کارایی فنی خالص به تفکیک نواحی ده‌گانه، سطح عدم اطمینان معین ۱۰ درصد (ε=۰/۱) و دو سطح احتمال انحراف از محدودیت ۵۰ و ۱۰۰ درصد در جدو۲ ارائه شده است. یادآوری می شود که سطح احتمال ۱۰۰ درصد (p=۱) منجر به تبدیل مدل RDEA به مدل متداول DEA می‌شود. بنابراین، در جدول مذکور علاوه بر بررسی اثر افزایش احتمال p بر انواع کارایی، می‌توان تفاوت میان DEA و RDEA را بررسی کرد. از آنجا که ناحیهٔ عقیلی در تمامی سناریوهای عدم حتمیت، امتیاز کارایی ۱ را به‌دست‌آورده است، می‌توان آن را به‌عنوان واحد شاخص در بین نواحی ده‌گانه معرفی کرد. شبکهٔ آبیاری گتوند از نظرکارایی فنی، کارایی مقیاس و کارایی فنی خالص در مدل DEA به‌ترتیب میانگین امتیاز ۰/۹۹، ۱ و ۰/۹۹ را کسب کرده است و از این‌رو در بین چهار شبکهٔ مورد بررسی، رتبهٔ اول را دارد. نتایج فوق در مدل RDEA با p=۰/۵ نیز صادق است. کمترین میزان انواع کارایی در تمام سناریوهای عدم حتمیت را در شبکه آبیاری شمال شرق اهواز و به‌ویژه ناحیهٔ سلامات، می‌توان دید که در کارایی فنی، کارایی مقیاس و کارایی فنی خالص در مدل RDEA به‌ترتیب امتیازات ۰/۳۲، ۰/۴۶ و ۰/۶۲ را دارد. دلیل پایین بودن کارآیی فنی و کارایی مقیاس را می‌توان یکسان نبودن شرایط اغلب کانال‌های مورد بررسی در شبکه‌ها از نظر تلاش برای کسب خروجی‌ها با استفاده از کمترین میزان ورودی دانست. شبکه‌های آبیاری شرق شعیبیه و میان‌آب شوشتر، از نظر میزان کارایی، به‌ترتیب در رتبه دوم و سوم قرار دارند. میانگین کارآیی فنی خالص در هر دو سطح احتمال p و عدم اطمینان معین، بزرگتر یا مساوی میانگین کارایی فنی است که نشان‌دهندهٔ مهارت بالای مدیران تصمیم‌گیرنده در شبکه‌ها در ترکیب بهینهٔ داده‌های ورودی است. ناحیهٔ ملاثانی در شبکهٔ آبیاری شمال شرق اهواز (در هر دو مدل) و ناحیهٔ شرق شعیبیه (در مدل DEA) دارای کارایی فنی خالص برابر ۱ و کارایی فنی کمتر از یک هستند. از آنجا که کارایی فنی خالص از حاصل‌ضرب کارایی فنی و مقیاس به‌دست می‌آید، می‌توان گفت که این نواحی از نظر ترکیب بهینه داده‌های ورودی درست عمل می‌کنند و ناکارایی آنها ناشی از نداشتن فعالیت در مقیاس بهینه است. میانگین کارایی مقیاس در تمام شبکه‌ها نشان می‌دهد که تقریباً ۲۵ درصد از داده‌های ورودی، هیچ‌گونه عایدی ندارند و بنابراین، برنامه‌ریزی بلندمدت برای افزایش کارایی کل سیستم، ضروری به‌نظر می‌رسد.

جدول ۲- مقادیر کارایی مقیاس، کارایی فنی و کارایی فنی خالص نواحی ده‌گانه در دو سطح احتمال و سطح عدم اطمینان معین ۱۰ درصد

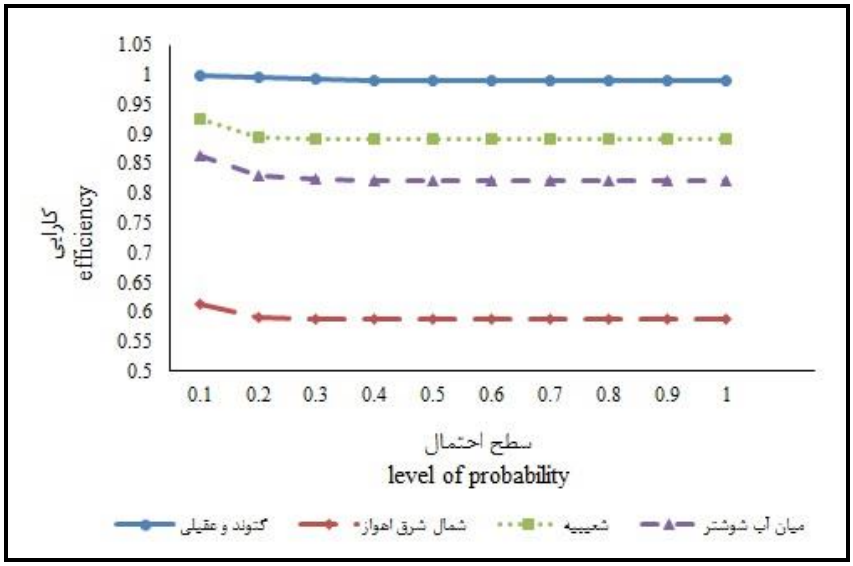
Table 2- Scale efficiency, technical efficiency and pure technical efficiency of the 10 regions at two levels of probability and a certain level of uncertainty of 10%

(RDEA)p= ۰/۵			(DEA)p= ۱				
کارایی فنی خالص Pure technical efficiency	کارایی مقیاس Scale efficiency	کارایی فنی Technical efficiency	کارایی فنی خالص Pure technical efficiency	کارایی مقیاس Scale efficiency	کارایی فنی Technical efficiency	ناحیه Region	شبکه‌های آبیاری Irrigation networks
0.97	0.99	0.97	0.99	1.00	0.99	گتوند Gotvand	گتوند Gotvand
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	عقیلی Aghili	
0.99	1.00	0.98	0.99	1.00	0.99	میانگین Average	
1.00	0.43	0.42	1.00	0.46	0.46	ملاثانی Mollasani	شمال شرق اهواز Shomal-e-Shargh-e- Ahvaz
0.73	0.74	0.52	0.75	0.77	0.56	ویس Veis	
0.62	0.46	0.32	0.05	0.31	0.02	سلامات Salamat	
0.77	0.45	0.33	0.78	0.47	0.35	ابوفاضل Abofazel	
0.78	0.52	0.40	0.65	0.50	0.35	میانگین Average	
0.88	0.86	0.76	0.90	0.91	0.83	فاز یک Phase 1	میان‌آب شوشتر Mianab-e-Shoshtar
0.83	0.77	0.67	0.85	0.81	0.72	فاز۲ Phase 2	
0.92	0.86	0.83	0.92	0.89	0.86	فاز۳ Phase 3	
0.88	0.83	0.75	0.89	0.87	0.80	میانگین Average	
0.99	0.89	0.88	1.00	0.92	0.92	شرق شعیبیه Shargh-e-shoeibieh	شرق شعیبیه Shargh-e-shoeibieh
0.87	0.75	0.68	0.83	0.76	0.68	Average	میانگین کل

برای بررسی دقیق‌تر مقادیر کارایی محاسبه شده در برابر عدم حتمیت، به تحلیل حساسیت آن برای شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه پرداخته شد و نتایج آن در شکل‌های ۲ و ۳ آمده است. شکل ۱، مقدار کارایی مقیاس را برای چهار شبکهٔ آبیاری تحت مطالعه در سطوح متفاوت p نشان می‌دهد که مؤید نتایج حاصل از تحلیل جدول ۲ است و نشان می‌دهد که شبکه‌های آبیاری گتوند و عقیلی، در رتبهٔ نخست کارایی برای تمام سطوح احتمال p قرار دارند. نکتهٔ قابل توجه در این شکل، کاهش میزان کارایی با افزایش سطح احتمال p از ۰/۱ تا ۰/۲ و ثابت ماندن آن از سطح احتمال ۰/۲ تا ۱ است. در مطالعات مردانی و صبوحی (Sabouhi & Mardani, 2017) و مردانی و همکاران (Mardani *et al.*, 2013) این

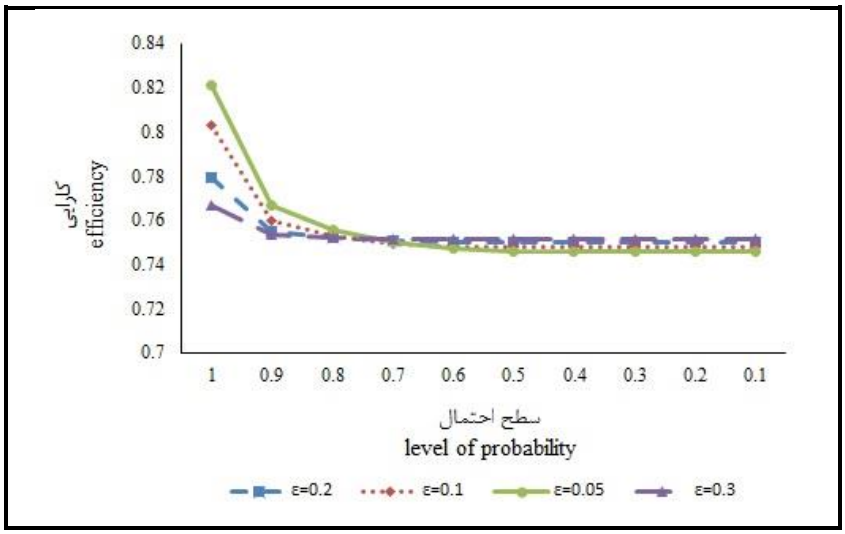
کاهش کارایی همراه با افزایش سطح احتمال p به‌طور مستمر ادامه یافته است که علت آن را می‌توان در مدل خطی جست‌وجو کرد که این محققان به‌کار برده‌اند. البته حساسیت کمتر داده‌های ورودی و خروجی در مطالعهٔ حاضر در مقایسه با مطالعات مذکور نسبت به‌عدم حتمیت نیز دلیل دیگر این تأثیرناپذیری است. هماهنگی بیشتر در نتایج حاصل از مطالعه حاضر و مطالعات شکوهی و همکاران (Shokouhi *et al.*, 2010) و مردانی و سالارپور (Mardani & Salarpour, 2015) بیشتر به‌دلیل تشابه مدل‌های استفاده شده است.

شکل ۳، تحلیل حساسیت کارایی مقیاس در کل شبکهٔ آبیاری و زهکشی کارون بزرگ را نسبت به دو پارامتر عدم حتیمت (p و ε) نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در یک سطح عدم اطمینان معین، نتایج تحلیل حساسیت، بنا به همان دلایل گفته شده، مشابه نتایج سطوح متفاوت احتمال در شکل ۱ است.



شکل ۲- تحلیل حساسیت مقدار کارایی مقیاس شبکه‌های آبیاری و زهکشی برای سطوح متفاوت *p*

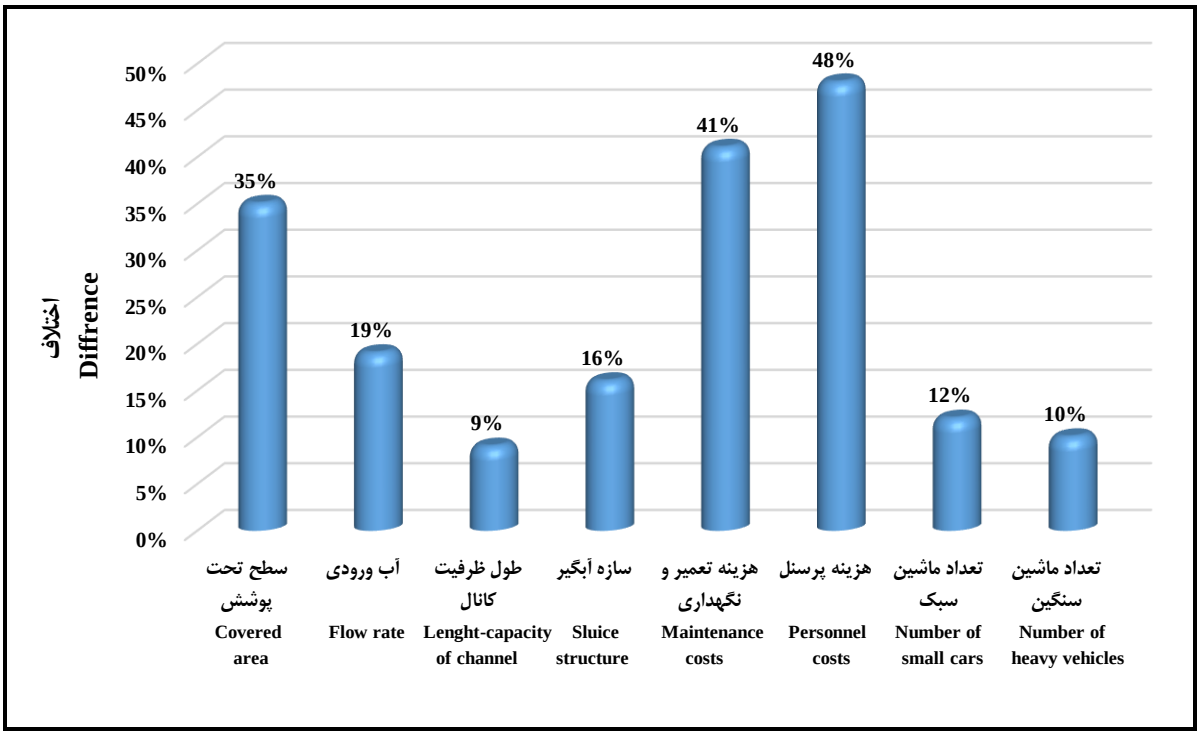
Figure 2- Sensitivity analysis of the scale efficiency of irrigation and drainage networks studied for different levels of *p*



شکل ۳- تحلیل حساسیت مقدار کارایی مقیاس کل شبکه در سطوح متفاوت *p* و ε

Figure 3- Sensitivity analysis of the scale efficiency level of total network at different levels of *p* and ε

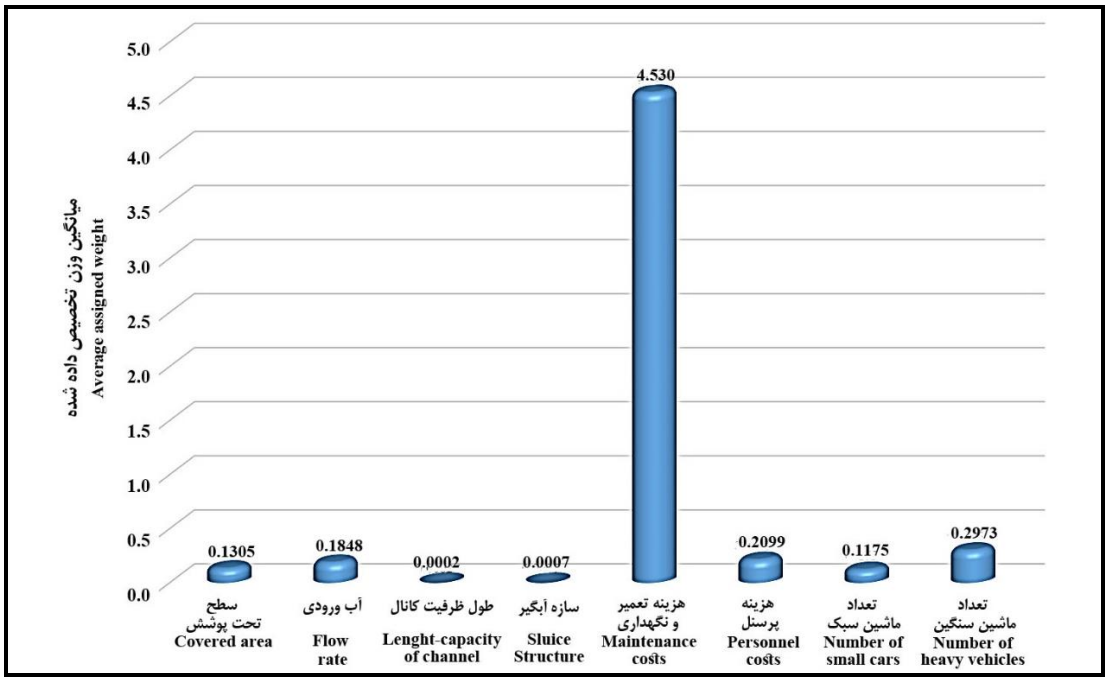
یکی از مزایای استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها، توانایی این روش در ارائهٔ مصرف بهینهٔ نهاده‌ها برای واحدهای تصمیم‌گیر غیرکارا نسبت به واحدهای کاراست. به‌عبارت دیگر، با استفاده از این روش به راحتی می‌توان علت ناکارایی شبکه‌های آبیاری و زهکشی را استخراج کرد. تفاوت اساسی بین این مطالعه و تحقیقات منعم و همکاران (Monem *et al.*, 2002) که به بررسی کارایی هشت شبکهٔ آبیاری در سطح کشور پرداختند، مشخص کردن علل ناکارایی شبکه‌های غیرکاراست. در شکل ۴، درصد اختلاف بین مصرف واقعی نهاده‌ها و مصرف بهینه آنها برای هر یک از نهاده‌های تحت بررسی آمده است. می‌بینیم که مهمترین علت ناکارایی شبکه‌های آبیاری و زهکشی کارون بزرگ، هزینه‌های پرسنلی و هزینه‌های تعمیر و نگهداری به‌ترتیب با ۴۸ و ۴۱ درصد اختلاف در مصرف واقعی و بهینه این نهاده‌هاست. به‌عبارت دیگر، تفاوت اصلی شبکه‌های کارا و غیرکارا در مدیریت و کنترل این دو هزینهٔ اصلی است. نتایج این مطالعه با نتایج مطالعات خلخالی و همکاران (Khalkhali *et al.*, 2008) همخوانی دارد که نشان دادند هزینه‌های پرسنلی و ماشین‌آلات عوامل اصلی ناکارایی در شبکه‌های اصلی کشور هستند. باید توجه داشت که در پایین‌دست کارون بزرگ که شبکه‌های آبیاری مانند شبکهٔ شمال شرق اهواز وجود دارد، به‌دلیل افت کیفیت منابع آب و خاک و ایجاد خرابی در کانال‌های این شبکه‌ها، بالا بودن هزینه‌های تعمیر و نگهداری طبیعی است و نتایج این تحقیق به‌صورت مستند بر این امر صحه می‌گذارد. از دیگر عوامل مهم در ناکارایی شبکه‌ها، سطح تحت پوشش شبکه است که بین مقدار واقعی و مقدار بهینهٔ آن ۳۵ درصد اختلاف وجود دارد. به‌عبارت دیگر، برخی از شبکه‌ها به‌رغم وسعت زیاد اراضی تحت پوشش خود، در مقایسه با شبکه‌های با اراضی کمتر، خروجی کمتری دارند. با بررسی ورودی سطح زیرکشت به‌عنوان عامل مهم ناکارایی شبکه‌ها، شاید این نکته به ذهن متبادر شود که افزایش سطح زیرکشت در شبکه به سرشکن شدن هزینه‌های ثابت و به کاهش هزینه‌های کل شبکه بینجامد. این تناقض با توجه به سازوکار مدل DEA به راحتی قابل توجیه است. باید توجه داشت که در این مطالعه به بررسی کارایی شبکه‌ها پرداخته شده است و مدل مورد استفاده یک مدل تحلیل ورودی- خروجی از نوع ورودی محور (نهاده)گراست. در حقیقت، این مدل تشخیص می‌دهد که کدام واحد تصمیم‌گیری با نهاده‌ها (ورودی‌های) کمتر، خروجی بیشتری را ارائه می‌دهد. اگر از این منظر به مدل DEA نگاه شود، تفاوت زیاد میان مقدار بهینه و واقعی سطح زیرکشت قابل توجیه است. در نتیجه، همان‌طور که قبلاً اشاره شد، وسعت زیاد اراضی تحت پوشش در برخی از شبکه‌ها به‌همراه اثر مضاعف دو عامل اصلی دیگر یعنی هزینه‌های پرسنلی و عملیاتی، منجر به ایجاد اختلاف زیاد در مقدار بهینه و واقعی این ورودی می‌شود.



شکل ۴- درصد اختلاف میان مقدار واقعی مصرف نهاده‌ها و مقدار بهینه مصرف نهاده‌ها در شبکه‌های ناکارا

Figure 4- Shows the difference between the actual consumption of inputs and the optimal use of inputs in inefficient networks

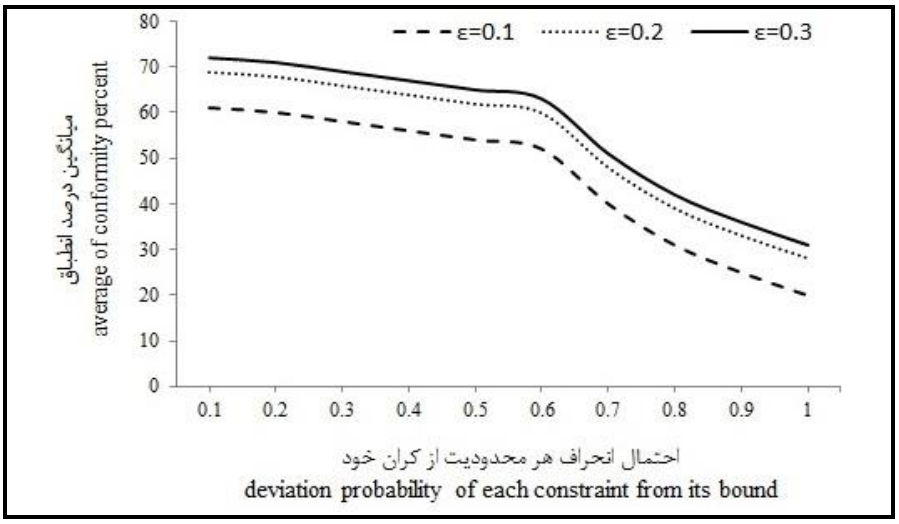
می‌دانیم که وزن‌دهی مربوط به هر یک از داده‌های ورودی در شبکه‌های تحت پوشش را مدل RDEA تعیین می‌کند و این مورد بستگی دارد به اهمیت و تأثیرگذاری آن ورودی در میان کل داده‌ها. شکل ۵ میانگین وزن‌های تخصیص داده شده در مدل RDEA را در سطح احتمال انحراف از محدودیت ۱۰ درصد و سطح عدم اطمینان ۲۰ درصد نشان می‌دهد. دیده می‌شود که بیشترین وزن در میان تمام ورودی‌ها هزینه‌های تعمیر و نگهداری از شبکه‌هاست. این امر نشان می‌دهد که اختلاف زیادی میان شبکه‌های کارا و ناکارا در زمینهٔ هزینه‌ها وجود دارد و مراحل تکمیل فرآیند حل مدل منجر به اختصاص وزن بیشتر به این ورودی برای هموارسازی این اختلاف شده است. داده‌های ورودی طول-ظرفیت کانال و سازه‌های آبگیر کمترین مقدار وزن را در میان داده‌ها دارند. به بیان دیگر، کارایی شبکه‌های آبیاری و زهکشی کارون بزرگ متأثر از این دو ورودی نیست. درستی این ادعا با حذف همزمان این دو دادهٔ ورودی از مدل RDEA به اثبات رسید؛ به‌طوری‌که پس از حذف این دو ورودی، در رتبه‌بندی نواحی دهگانه و شبکه‌های اصلی هیچ تغییری ایجاد نشد و تنها در برخی از کانال‌های درجه ۲ این رتبه‌بندی تغییر کمی را نشان داد. این عمل تنها به‌دلیل تحلیل حساسیت در داده‌های ورودی و صحت‌سنجی وزن‌های تخصیصی انجام پذیرفته و باید توجه داشت که حذف کامل این دو ورودی از مدل باعث حذف بخشی از اطلاعات مفید مانند تعیین دقیق مقدار سهم هر نهاده ورودی در ناکارایی واحدهای ناکارا خواهد شد که در شکل ۵ به‌صورت ضمنی به آن اشاره شده است. بنابراین، در کلیهٔ تحلیل‌های صورت گرفته این دو ورودی حضور داشته‌اند.



شکل ۵- میانگین وزن‌های تخصیص داده شده به داده‌های ورودی با مدل RDEA

Figure 5- Average weights assigned to input data with RDEA model

برای اعتبارسنجی مدل RDEA، از روش شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده شد که در شکل ۱ مشاهده می‌شود. در این مرحله، ۱۰ هزار عدد تصادفی با توزیع یکنواخت برای هر یک از ورودی‌ها و خروجی‌ها تولید و پس از آن با استفاده از وزن‌های حاصل از حل مدل RDEA به رتبه‌بندی مجدد واحدها با استفاده از داده‌های تصادفی پرداخته شد. به‌عبارت دیگر، در این فرایند برای هر p و ε ۱۰ هزار رتبه‌بندی جدید حاصل می‌شود. این رتبه‌بندی‌ها بعدا با رتبه‌بندی اولیه مقایسه و در صورت وجود اختلاف، به‌عنوان نبود انطباق ثبت می‌شود. هرچه میزان نبود انطباق بیشتر باشد، ناتوانایی مدل در مواجهه با عدم حتمیت نیز بیشتر است. شکل ۶، نتایج این شبیه‌سازی را برای سطوح متفاوت p و ε نشان می‌دهد. برای نمونه، در سطح احتمال p=۰/۱ و ε=۰/۱، درصد انطباق حدود ۷۰ است. مفهوم این عدد این است که از ۱۰ هزار رتبه‌بندی ایجاد شده با اعداد تصادفی، حدود هفت هزار رتبه‌بندی (۷۰ درصد) دقیقاً با رتبه‌بندی اولیه مطابقت دارد. دیده می‌شود که با افزایش سطح احتمال، درصد انطباق در حال کاهش است؛ به‌طوری‌که در سطح عدم اطمینان معین ۱۰ درصد، درصد انطباق از حدود ۶۰ درصد در سطح احتمال ۱۰ درصد به حدود ۲۰ درصد در سطح احتمال ۱۰۰ درصد (مدل DEA معمولی) کاهش یافته است. همچنین مشخص گردید که با افزایش میزان سطح عدم اطمینان معین، میانگین درصد انطباق، افزایش می‌یابد. وجود ۶۰ تا ۷۰ درصد انطباق در سطوح بالای محافظه‌کاری (سطوح پایین احتمال p)، حکایت از توانمندی بالای مدل RDEA در مواجهه با مسئلهٔ عدم حتمیت در ارزیابی کارایی شبکه‌های آبیاری و زهکشی کارون بزرگ دارد. این نتیجه با نتایج مطالعات شکوهی و همکاران (Shokouhi *et al.*, 2010)، مردانی و صبوحی (Sabouhi & Mardani, 2017) و مردانی و ضیایی (Mardani & Ziaei, 2015) همخوانی دارد.



شکل ٦- نتایج حاصل از شبیه‌سازی مونت‌کارلو در اعتبارسنجی مدل RDEA

Figure 6- The results of Monte Carlo simulation in validating the RDEA model

نتیجه‌گیری

یکی از دغدغه‌های مهم مدیران شبکه‌های آبیاری و زهکشی، بررسی عملکرد شبکه‌های تحت مدیریت آنهاست. در این راستا، روش‌های برنامه‌ریزی به این مدیران در ارزیابی واحدهای تحت مدیریت خود کمک خواهدکرد. یکی از روش‌های توانمند در ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری، روش تحلیل پوششی داده‌هاست. به‌رغم وجود نکات مثبت این روش، یکی از نقص‌های اساسی آن وجود حساسیت بسیار زیاد نتایج به تغییرات داده‌های ورودی و خروجی است. از این‌رو، در مطالعهٔ حاضر، از روش تحلیل پوششی داده‌ها با پارامترهای کنترل‌کنندهٔ میزان محافظه‌کاری برای ارزیابی کارایی شبکه‌های آبیاری و زهکشی کارون بزرگ استفاده شد. هشت دادهٔ ورودی و ۳ دادهٔ خروجی برای بررسی کارایی چهار شبکهٔ آبیاری و زهکشی تعریف و محاسبات اولیه روی آن دنبال شد. پس از حل مدل مورد نظر، مشخص گردید شبکهٔ گتوند از نظر کارایی در رتبهٔ اول است و پس از آن شبکه‌های شرق شعیبیه، میان‌آب شوشتر و شمال شرق اهواز قرار دارند. نتایج تحقیق همچنین نشان داده‌است که با افزایش میزان محافظه‌کاری، میانگین کارایی شبکه‌ها کاهش می‌یابد. بررسی علل ناکارایی نشان می‌دهد که هزینه‌های پرسنلی و تعمیرو نگهداری شبکه‌ها بیشترین نقش را در ناکارایی شبکه‌ها دارند. اعتبارسنجی مدل RDEA با شبیه‌سازی مونت‌کارلو نشان می‌دهد که در ۶۰ تا ۷۰ درصد موارد رتبه‌بندی کارایی تغییری دیده نمی‌شود و این نشان از مناسب بودن روش RDEA در مطالعهٔ حاضر است. با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه، پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود.

- الگو قرار دادن شبکه‌های پیشرو در کارایی (شبکهٔ آبیاری گتوند) در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی کارون بزرگ.
- هزینهٔ تعمیر و نگهداری قابل توجه است و از این‌رو استفاده از تجهیزات جدید و از دور خارج کردن تجهیزات قدیمی می‌تواند به کاهش این هزینه‌ها و افزایش کارایی کمک کند.
- یکی از دلایل افزایش هزینهٔ تعمیر و نگهداری و ناکارایی برخی از شبکه‌های پایین‌دست از جمله شبکه شمال شرق اهواز، پایین بودن کیفیت منابع آب و خاک در این شبکه‌ها گزارش شده است. نبود

اطلاعات مناسب (مخصوصاً در مقیاس کوچک) در این شبکه‌ها باعث حذف این نوع از اطلاعات در بسیاری از تحقیقات کمی شده است که بر عملکرد شبکه‌ها نظارت دارد. بنابراین، دنبال‌کردن مطالعات تفصیلی در زمینهٔ کیفیت منابع آب و خاک در شبکه‌های مذکور قویاً پیشنهاد می‌شود.

- برگزاری دوره‌های آموزشی متعدد برای پرسنل شبکه‌های آبیاری و زهکشی کارون بزرگ باعث افزایش کارایی این پرسنل و به‌تبع آن افزایش کارایی شبکه‌ها می‌شود.

- در مطالعات بعدی، استفاده از مدل RDEA به‌دلیل انعطاف این مدل در شرایط متفاوت محافظه‌کاری و ارائهٔ گزینه‌های مختلف و نتایج اعتبارسنجی مدل توصیه می‌شود.

قدردانی

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی تعیین کارایی شبکه‌های آبیاری و زهکشی کارو ن بزرگ به شماره ۳۳/۹۵/۱۲۶ بوده که بدین‌وسیله از سازمان آب و برق خوزستان و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

Amiri, M., Alimi, A. and Abtahi, H. 2007. Providing a model for data envelopment analysis to obtain common weights using fuzzy logic. J. of Indust. Manage. Stud. 6(17): 135-151. (in Persian)

Anon. 1980. Methodology for area wide planning studies. Engineer Technical Letter No. 1110-2-502. US. Army Corps of Engineers. Washington, D.C.

Anon. 2015. ARKI Consulting and Development. GAMS/CONOPT3. Bagsvaerdvej 246A, DK-2880 Bagsvaerd, Denmark.

Azizi, H. 2013. A note on data envelopment analysis with missing values: an interval DEA approach. Int. J. Adv. Manuf. Tech. 66(9-12): 1817–1823.

Babaei, M., Paknejad, H., Mardani, M. and Salarpour, M. 2012. Evaluation of productivity of crops in Jahrom city using interval data envelopment analysis. J. Oper. Res. Appl. 9(4): 23-32. (in Persian)

Banker, R. D., Charnes, A. and Cooper, W. W. 1984. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. Manage. Sci. 30(9): 1078-1092.

Ben-Tal, A. and Nemirovski, A. 1999. Robust solutions of uncertain linear programs. Oper. Res. Let. 25(1): 1-13.

Ben-Tal, A. and Nemirovski, A. 2000. Robust solutions of linear programming problems contaminated with uncertain data. Math. Program. 88(3): 411-424.

Bertsimas, D. and Sim, M. 2004. The price of robustness. Oper. Res. 52(1): 35-53.

Chambers, R. 1983. Rapid appraisal for improving existing canal irrigation systems. Int. J. Water Res. Dev. 3(1): 73-87.

Charnes, A., Cooper, W. W., Golany, B., Seiford, L. and Stutz, J. 1985. Foundations of data envelopment analysis for Pareto-Koopmans efficient empirical production functions. Journal Econom. 30(1): 91-107.

Chen, Y. and Zhu, J. 2003. DEA Models for identifying critical performance measures. Ann. Oper. Res. 124(1-4): 225-244.

Chung, G., Lansey, K. and Bayraksan, G. 2009. Reliable water supply system design under uncertainty. Environ. Model. Softw. 24(4): 449-462.

Dahimavi, A. and Ahvazian, H. 2009. Investigating the results of designing and implementing the irrigation management transfer process to water users' organizations in Khuzestan Water and Power Organization. Second National Conference on Irrigation and Drainage Management. Jan. 20. Ahvaz, Iran. (in Persian)

Dedrick, A. R., Bautista, E., Clyma, W., Levine, D. B., Rish, S. A. and Clemmens, A. J. 2000. Diagnostic analysis of the Maricopa-Stanfield irrigation and drainage district area. Irrig. Drain. Syst. 14(1-2): 41-67.

El Ghaoui, L., Oustry, F. and Lebret, H. 1998. Robust solutions to uncertain semidefinite programs. SIAM J. Optimiz. 9(1): 33–52.

Esfanjari-Kenari, R. and Zibaei, M. 2012. Study of technical efficiency and technology gap of Iranian livestock breeding units. Econ. Agric. Dev. Res. 26(4): 252-260. (in Persian)

Hatami-Marbini, A., Agrell, P. J., Tavana, M. and Khoshnevis, P. 2017. A flexible cross-efficiency fuzzy data envelopment analysis model for sustainable sourcing. J. Clean. Prod. 142, 2761-2779.

Khalkhali, M., Monem, M. and Ebrahimi, K. 2008. Designing a decision support model for assessing and improving the performance of irrigation and drainage networks. J. Agric. Eng. Res. 9(1): 125-140. (in Persian)

Karimi, F., Pirasteh, H. and Zahedi Keyvan, M. 2008. Determination of wheat agriculture efficiency based on two time and risk factors using interval data envelopment analysis and window data envelopment analysis. Agric. Econ. Dev. 16(64): 139-159. (in Persian)

Lertworasirikul, S., Fang, S. C. Joines, J. and Nuttle, H. 2003. Fuzzy data envelopment analysis (DEA): a possibility approach. Fuzzy Set. Syst. 139(2): 379-394.

Liu, F. H. F. and Peng, H. 2008. Ranking of units on the DEA frontier with common weights. Comput. Oper. Res. 35(5): 1624-1637.

Malano, H., Burton, M. and Makin, I. 2004. Benchmarking performance in the irrigation and drainage sector: a tool for change. Irrig. Drain. 53(2): 119-133.

Mardani, M. and Salarpour, M. 2015. Measuring technical efficiency of potato production in Iran using robust data envelopment analysis. Inform. Process. Agric. 2(1): 6-14.

Mardani, M. and Ziaei, S. 2015. Determination of the effectiveness of wheat farms in Neyshabur city under uncertainty. Econ. Agric. Dev. Res. 30(2): 136-147. (in Persian)

Mardani, M., Sargazi, A. and Sabouhi, M. 2013. Study of the efficiency of Sistan wheat farms by combining the optimization model with conservative control parameters and data envelopment analysis. Agric. Econ. Dev. 27, 55-68. (in Persian)

Monem, M., Alirezaei, M. and Salehi, A. 2002. Evaluation of efficiency of irrigation networks using data envelopment analysis. J. Soil Water (Agric. Sci. Tech.). 6(4): 11-26. (in Persian)

Olesen, O. B. and Petersen, N. C. 2016. Stochastic data envelopment analysis-A review. Eur. J. oper. Res. 251(1): 2-21.

Ramezani-Tarkhorani, S., Khodabakhshi, M., Mehrabian, S. and Nuri-Bahmani, F. 2014. Ranking decision-making units using common weights in DEA. Appl. Math. Model. 38(15): 3890-3896.

Sabouhi, M. and Mardani, M. 2017. Linear robust data envelopment analysis: CCR model with uncertain data. Int. J. Prod. Qual. Manage. 22(2): 262-280.

Shokouhi, A. H., Hatami-Marbini, A., Tavana, M. and Saati, S. 2010. A robust optimization approach for imprecise data envelopment analysis. Comput. Indust. Eng. 59(3): 387-397.

Small, L. E. and Svendsen, M. 1990. A framework for assessing irrigation performance. Irrig. Drain. Syst. 4(4): 283-312.

Smirlis, Y. G., Maragos, E. K. and Despotis, D. K. 2006. Data envelopment analysis with missing values: An interval DEA approach. Appl. Math. Comput. 177(1): 1-10.

Tsionas, E. G. 2003. Combining DEA and stochastic frontier models: An empirical Bayes approach. Eur. J. Oper. Res. 147(3): 499-510.

Yaghobi, F., Jamialahmadi, M., Bakhshi, M., Zahan, S. and Hasan, M. 2014. Comparison of technical and economic performance indicators of water use in wheat and saffron production in Qaenat city. Saffron Agric. Tech. 3(4): 225-236. (in Persian)

Yilmaz, B., Yurdusev, M. A. and Harmancioglu, N. B. 2009. The Assessment of irrigation efficiency in Buyuk Menderes basin. Water Res. Manage. 23(6): 1081-1095.

Zahmatkesh, M. and Montazer, A. A. 2011. Evaluation of the performance of a number of irrigation networks in the world using a comparative method and data mining analysis. J. Soil Water (Agric. Sci. Tech.). 25(5): 1042-1057. (in Persian)

AERI

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.20/No.76/ Autumn 2019/P:37-56

Determining the Efficiency of Great Karun Irrigation and Drainage Networks using Data Envelopment Analysis Method with Conservatism Control Parameters

M. Mardani-Najafabadi*, A. Abdeshahi, M. Forouzani and M. Zeinali

*Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Khuzestan Agriculture Sciences and Natural Resources University, Mollasani, Ahvaz, Iran. Email: Email: m.mardani@Asnrukh.ac.ir
Received: 17 June 2018, Accepted: 12 November 2018

Abstract

Different studies show that the performances of many irrigation and drainage networks are less than what expected due to design and implementation defects and lack of proper management. On the other hand, the existence of several effective factors in the performances of these networks has made their evaluation as a complicated issue. Data Envelopment Analysis (DEA) is one of the most effective methods to evaluate efficiency. Of course, the precise and accuracy assumption of the data has restricted the use of this model. Therefore, in this study, Data Envelopment Analysis with conservative control parameters (RDEA) were used to determine the technical, scale, and pure technical efficiency of 4 irrigation and drainage networks of Great Karun with considering the uncertainty problem in the data. The results showed that at the level of 50% probability of deviation, Gotvand and Northwest Ahwaz irrigation and drainage network with the mean score of 1 and 0.52 have the highest and lowest efficiency, respectively. Investigating the causes of inefficiencies in the networks showed that personnel costs and maintenance cost had the highest impact on this way, so that the difference between actual use and the optimal level of these two inputs are 48% and 41% respectively. Finally, to validate decision makers in using the results, validation of the method was performed by Monte Carlo simulation. The results of this simulation indicated the ability of the RDEA model against uncertain data.

Keywords: Monte Carlo Simulation, Performance Evaluation, Robust Data Envelopment Analysis, Uncertainty