

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

مصطفی مردانی نجف‌آبادی<sup>۱\*</sup>، عباس عبدشاهی<sup>۲</sup>، معصومه فروزانی<sup>۳</sup> و منیره زینالی<sup>۴</sup>

۱ و ۲- به ترتیب: 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 زمینه ارزیابی کارایی، روش تحلیل پوششی داده‌ها است. البته فرض دقیق و معین بودن داده‌های مورد استفاده در این روش، باعث ایجاد محدودیت‌هایی در استفاده از آن می‌شود. از این رو، در مطالعه حاضر برای تعیین کارایی فنی، کارایی مقیاس و کارایی فنی خالص در چهار شبکه آبیاری و زهکشی کارون بزرگ با در نظر گرفتن مسئله عدم حتمیت در داده‌ها، از روش تحلیل پوششی داده‌ها با پارامترهای کنترل‌کننده میزان محافظه‌کاری استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که در سطح احتمال ۵۰٪ در صد انحراف از محدودیت، شبکه آبیاری و زهکشی گتوند و شمال شرق اهواز به ترتیب با میانگین ۱ و ۰/۵۲ امتیاز، بیشترین و کمترین کارایی را دارند. بررسی علل ناکارایی در شبکه‌ها نشان می‌دهد که هزینه‌های پرسنی و تعمیر و نگهداری بیشترین تأثیر را بر این امر داشته به نحوی که در صد اختلاف میان مقدار واقعی و مطلوب این دو نهاد به ترتیب ۴۸ و ۴۱ درصد است. برای اطمینان خاطر تصمیم‌گیرندگان در به کارگیری نتایج حاصل از مطالعه، با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو، اعتبار روش مذکور سنجیده شد. نتایج به دست آمده بیانگر توانمندی مدل تحلیل پوششی داده‌ها با پارامترهای کنترل‌کننده میزان محافظه‌کاری در مقابل داده‌های نامطمئن است.

### واژه‌های کلیدی

ارزیابی عملکرد، تحلیل پوششی داده‌های استوار، شبیه‌سازی مونت کارلو، عدم حتمیت

### مقدمه

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

بشر همواره با محدودیت عوامل تولید و به تبع آن محدودیت کالاهای و خدمات مواجه است و از این رو برای به دست آوردن شرایط بهتر زندگی، جز استفاده بهینه از امکانات موجود و دسترسی به تولید بیشتر و با کیفیت بالاتر چاره‌ای دیگر ندارد (Mardani et al., 2013). امروزه، به دست آوردن

ارائه شده است (Chen & Zhu, 2003; Lertworasirikul *et al.*, 2003; Hatami-Marbini *et al.*, 2017). از جمله این روش‌ها، می‌توان به تحقیقات عزیززی (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)<sup>۵</sup> 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)<sup>۶</sup> و تحلیل پوششی داده‌های تصادفی (SDEA)<sup>۷</sup> نیز مورد توجه محققان قرار گرفته است (Tsionas, 2003; Olesen & Petersen, 2016; Hatami-Marbini *et al.*, 2017). 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 مسئله عدم حتمیت را در

فیزیکی و مدیریتی- اجتماعی سیستم‌ها، مصدافی 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 غیرکمی‌اند و اگر مانند روش‌های کلاسیک به کمی‌سازی شاخص‌ها پرداخته‌اند، استانداردهایی برای مقایسه و بهبود عملکرد ندارند (Khalkhali *et al.*, 2008). از جمله این رویکردها، می‌توان به روش‌های تجزیه و تحلیل تشخیصی<sup>۱</sup> (Dedrick *et al.*, 2000)، ارزیابی سریع<sup>۲</sup> (Chambers, 1983) و ارزیابی چارچوبی<sup>۳</sup> (Small & Svendsen, 1990) اشاره کرد.

روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)<sup>۴</sup> که چارلز 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 به‌طور 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 درجه کارایی مشخص می‌شود (Esfanjari-Kenari & Zibaei, 2012).

اخیراً روش‌های گوناگونی برای غلبه بر مسئله داده‌های نامطمئن در الگوی تحلیل پوششی داده‌ها

1- Diagnostic Analysis

3- Framework Appraisal

5- Interval Data Envelopment Analysis

7- Stochastic Data Envelopment Analysis

2- Rapid Appraisal

4- Data Envelopment Analysis

6- Fuzzy Data Envelopment Analysis

روش تحلیل پوششی داده‌ها اعمال و نواقص مطالعات فوق را برطرف کرده است، روش تحلیل پوششی داده‌ها با پارامترهای کنترل‌کننده میزان محافظه‌کاری یا تحلیل پوششی داده‌های استوار (RDEA)<sup>۱</sup> 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.

$$\begin{aligned} \max \quad & \theta_o = \sum_{r=1}^s u_r y_{ro}, \\ \text{subject to} \quad & \sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1, \\ & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad \forall j, \\ & u_r, v_i \geq 0 \quad \forall r, i. \end{aligned} \quad (1)$$

که در آن،

$u \in R^{s \times 1}$  و  $v \in R^{m \times 1}$  وزن‌های ورودی  $i$  و خروجی  $r$ ؛ و  $\theta_o =$  کارایی حاصل از برتری ورودی‌ها و خروجی‌های واحد تصمیم‌گیرنده  $o$  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 تصمیم‌گیرنده  $o$  در فاصله (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)<sup>۳</sup> معرفی شد. بنابراین، یکسان بودن نتایج حاصل از دو الگوی بازده ثابت و بازده متغیر نسبت به مقیاس، نمایانگر رابطه خطی بین نهاده‌ها و ستاده‌هاست. برای محاسبه کارایی مقیاس، کافی است متغیر  $w$  را به

روش تحلیل پوششی داده‌ها اعمال و نواقص مطالعات فوق را برطرف کرده است، روش تحلیل پوششی داده‌ها با پارامترهای کنترل‌کننده میزان محافظه‌کاری یا تحلیل پوششی داده‌های استوار (RDEA)<sup>۱</sup> 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 مطالعه حاضر، تعیین کارایی شبکه‌های آبیاری و زهکشی کارون بزرگ، یکی از عظیم‌ترین شبکه‌های آبیاری و زهکشی کشور، است. به تبع 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، مقایسه 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)<sup>۲</sup>، الگوی برنامه‌ریزی خطی است که چارنز و همکاران

1- Robust Data Envelopment Analysis

3- Data Envelopment Analysis

2- Constant Return to Scale

در اواسط دهه 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<sup>۱</sup> بود. همین امر موجب شد تا روش برنامه‌ریزی با پارامترهای کنترل‌کننده محافظه‌کاری<sup>۲</sup> (میزان عدم حتمیت) یا بهینه‌سازی استوار ابداع شود (Bertsimas & Sim, 2004). با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیرنده که  $J_j^x$  و  $J_j^y$  به ترتیب مجموعه‌های مربوط به مقادیر نهاده‌ها و ستاده‌های مبهم آنهاست، می‌توان پارامترهای  $\gamma_j^x$  و  $\gamma_j^y$  را تعریف کرد که مقادیری در محدوده  $[0, J_j^x]$  و  $[0, J_j^y]$  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 به روش بهینه‌سازی استوار و تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای به صورت مدل غیرخطی<sup>۲</sup> است (Shokouhi *et al.*, 2010).

سمت 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 کارایی مقیاس به دست می‌آید (Yaghobi *et al.*, 2014).

### تحلیل پوششی داده‌ها با پارامترهای کنترل‌کننده میزان محافظه‌کاری

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

$$\begin{aligned}
 \max \quad & \theta_p = \sum_{r=1}^s u_r y_{rp}^U - z_p \gamma_p^y - \sum_{r=1}^s P_{rp}, \\
 \text{s.t} \quad & \sum_{i=1}^m v_i x_{ip}^L + z_p \gamma_p^x - \sum_{r=1}^s q_{ip} = 1 \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^L - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^U + z_j \Gamma_j + \sum_{r=1}^s P_{rj} + \sum_{r=1}^m q_{ij} \leq 0 \quad \forall j \neq p, \\
 & z_j + p_{rj} \geq u_r (y_{rj}^U - y_{rj}^L), \quad \forall r, j \\
 & z_j + q_{ij} \geq v_i (x_{ij}^U - x_{ij}^L), \quad \forall i, j \\
 & \gamma_p^x + \gamma_p^y = \Gamma \\
 & \theta_p \leq 1, \\
 & v_i, u_r \geq \varepsilon, \quad \forall i, r \\
 & z_j, q_{ij}, p_{rj} \geq 0, \quad \forall i, j, r
 \end{aligned} \tag{2}$$

نامطمئن ( $n$ ) در آن محدودیت، مقدار  $\Gamma$  محاسبه خواهد شد.

### اعتبارسنجی نتایج مدل RDEA

ارزیابی نتایج حاصل از روش RDEA و بررسی میزان مقاومت این روش در مقابل تغییرات احتمالی در داده‌های ورودی و خروجی، از ضروریات ایجاد اعتماد به این نتایج است. در این راستا، از روش شبیه‌سازی مونت کارلو برای تولید اعداد تصادفی و ارزیابی مدل RDEA استفاده شده است. این شبیه‌سازی یک الگوریتم محاسباتی است که از نمونه‌گیری تصادفی برای محاسبه نتایج استفاده می‌کند و چهار مرحله اصلی دارد. شکل ۱، مراحل این فرآیند را نشان می‌دهد. در مرحله اول، مدل RDEA به‌ازای مقادیر مختلف  $\varepsilon$  و  $\Gamma$  حل می‌شود و با توجه به مقادیر کارایی حاصل، کلیه واحدهای تصمیم‌گیری رتبه‌بندی می‌شوند.

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

در مرحله سوم، با کمک اعداد تصادفی مرحله ۲ و وزن‌های به‌دست آمده ( $u_r$  و  $v_i$ ) از حل مدل RDEA در مرحله 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. در الگوهای 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).

که در آن،  $q$  و  $P$  = متغیرهای اضافی<sup>۱</sup> غیرمنفی؛  $\varepsilon$  = سطح عدم اطمینان معین<sup>۲</sup>؛ و  $\Gamma$  = پارامتر کنترل‌کننده 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  $J_j^x = |J_j^x|$  و  $J_j^y = |J_j^y|$  باشند، آنگاه  $\gamma_j^x$  و  $\gamma_j^y$  بیشترین تأثیر را بر محدودیت‌های خود دارند و در نتیجه بدبینانه‌ترین حالت ممکن برای واحد مورد بررسی اتفاق خواهد افتاد.

بنابراین، با تغییر  $\Gamma$  که مجموع دو متغیر  $\gamma_j^x$  و  $\gamma_j^y$  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  $\Gamma$  می‌تواند مقادیر متفاوتی اختیار کند که این مقادیر به احتمال انحراف محدودیت<sup>۳</sup>  $i$  از کران خود ( $P$ ) و همچنین به تعداد پارامترهای نامطمئن ( $n$ ) در محدودیت مورد نظر بستگی دارد. با جایگذاری جواب بهینه<sup>\*</sup>  $x^*$  در رابطه<sup>۳</sup>، احتمال انحراف محدودیت  $i$  از کران خود، به‌صورت رابطه<sup>۳</sup> تعریف می‌شود (Bertsimas & Sim, 2004).

$$pr\left(\sum_j \tilde{a}_{ij} x_j^* > b_i\right) \leq B(n, \Gamma_i) \quad (3)$$

برای محاسبه  $\Gamma$ ، یک سطح مطلوب احتمال انحراف محدودیت  $i$  از کران آن محدودیت در نظر گرفته می‌شود و با توجه به تعداد پارامترهای

1- Additional Variable

3- Probability of Constraint Violation

2- Given Uncertainty Level



شکل ۱- مراحل شبیه‌سازی مونت کارلو برای اعتبارسنجی مدل RDEA  
Figure 1- Monte Carlo simulation steps for validating the RDEA model

شرکت بهره‌برداری کارون بزرگ وصول و به‌عنوان دومین ورودی به کار گرفته شد. طول- ظرفیت کانال: برای دستیابی به این پارامتر ورودی، از رابطه ۴ استفاده شد (Chung *et al.*, 2009).

$$H_i = L_i^{0.129} q_i (\exp(q_i))^{0.092} \quad (4)$$

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 حاصل ضرب 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.

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

### 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 محاسبه میانگین این واحدهای تصمیم‌گیرنده به دست می‌آید و مجدداً با میانگین‌گیری از نواحی مختلف، مقادیر کارایی هر شبکه حاصل خواهد شد. داده‌های ورودی مدل RDEA برای هر یک از کانال‌های درجه ۱ و ۲ به شرح 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 به صورت کامل از

$$Cost_i = 0.0254L_i q_i^{0.572} + (0.078 + 0.0135q_i) L_i \frac{ENR}{1850} \quad (5)$$

تعداد ماشین‌آلات سبک: روش محاسبه تعداد ماشین‌آلات سبک برای هر کانال دقیقاً مانند روش محاسبه هزینه پرسنلی است و از رابطه‌های ۹ تا ۱۱ به دست می‌آید.

$$TMS_i = \frac{sat_i}{Tsat_a} \times TMS_a \quad (9)$$

$$TMSS_i = \frac{sat_i}{\sum_{a=1}^g Tsat_a} \times TMSS \quad (10)$$

$$TTMS_i = TMS_i + TMSS_i \quad (11)$$

که در آنها،  
 $TMS_i$  = تعداد ماشین‌آلات سبک هر کانال؛  
 $TMS_a$  = تعداد ماشین‌آلات سبک شبکه مورد نظر؛  
 $TMSS_i$  = تعداد ماشین‌آلات سبک ستادی هر کانال؛  
 $TMSS$  = تعداد ماشین‌آلات سبک ستادی کل.  
 تعداد ماشین‌آلات سنگین: این پارامتر ورودی از رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود.

$$TMG_i = \frac{sat_i}{Tsat_a} \times MG_a \quad (12)$$

که در آن،  
 $TMG_i$  = تعداد کل ماشین‌آلات سنگین هر کانال؛ و  
 $MG_a$  = تعداد ماشین‌آلات سنگین هر شبکه.  
 داده‌های خروجی مدل RDEA برای هر یک از کانال‌های درجه ۱ و ۲ به شرح زیر جمع‌آوری یا محاسبه شد.  
 سطح زیرکشت: کلیه سطوح زیرکشت محصولات کشاورزی شبکه‌ها به تفکیک کانال‌ها در دسترس و

که در آن،  
 $Cost$  = هزینه تعمیر و نگهداری کانال؛ و  
 $ENR$  = میزان تورم.

هزینه پرسنلی: از رابطه ۶ برای محاسبه هزینه پرسنلی هر یک از کانال‌های تحت بررسی استفاده شد.

$$CP_i = \frac{sat_i}{Tsat_a} \times TC_a \quad (6)$$

که در آن،  
 $CP_i$  = هزینه پرسنلی کانال مورد نظر؛  $sat_i$  = سطح تحت پوشش کانال مورد نظر؛  $Tsat_a$  = کل سطح تحت پوشش شبکه مورد نظر؛ و  $TC_a$  = هزینه پرسنلی شبکه مورد نظر. اندیس  $a$  نیز نشان‌دهنده کانال مورد نظر و از ۱ تا  $g$  ( $a = 1, 2, 3, \dots, g$ ) متغیر است. یادآوری می‌شود که هزینه‌های پرسنلی نسبتاً بالایی در نیروهای ستادی وجود دارد که در فرمول فوق محاسبه نشده است. بنابراین لازم است هزینه پرسنلی ستادی هر کانال نیز محاسبه و به هزینه پرسنلی حاصل از رابطه ۶ اضافه شود. هزینه ستادی برای هر کانال از رابطه ۷ محاسبه می‌شود.

$$CSP_i = \frac{sat_i}{\sum_{a=1}^g Tsat_a} \times TCSP \quad (7)$$

که در آن،  
 $CSP_i$  بیانگر هزینه ستادی پرسنلی کانال مورد مطالعه و  $TCSP$  نشان‌دهنده هزینه ستادی پرسنلی کل است. هزینه کل پرسنلی هر کانال از رابطه ۸ به دست می‌آید.

$$TCP = CP_i + CSP_i \quad (8)$$



که بتوان وزن‌های مشترک را برای تمام واحدهای تصمیم‌گیری ایجاد کرد. این عمل به واسطه برخی از روش‌ها مانند برنامه‌ریزی چند هدفه فازی (Amiri *et al.*, 2007) یا بهینه‌سازی کارایی گروه<sup>۲</sup> (Liu & Peng, 2008) امکان‌پذیر است. استفاده از این دو روش نیز در مواردی که بازدهی نسبت به مقیاس وجود دارد (مانند مطالعه حاضر) منجر به از دست رفتن حقایقی در مورد ارزش هر یک از ورودی‌ها در برآورد کارایی واحدها خواهد شد. از این‌رو، در مطالعه 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 ۷ 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)<sup>۳</sup> عمل می‌کند و شرکت مشاوره و توسعه ARKI در دانمارک آن را در نرم‌افزار GAMS راه‌اندازی و توسعه داده است (Anon, 2015).

#### منطقه 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، وظیفه نگهداری و بهره‌برداری از ۵ شبکه آبیاری و زهکشی را بر عهده دارد که از رودخانه کارون آبیاری می‌شوند. شبکه‌های آبیاری و زهکشی گتوند، میان‌آب شوشتر، شمال شرق اهواز، شرق

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 ضرب کردن سه عدد (قیمت، عملکرد و سطح زیر کشت محصول) به دست آمد.

شاخص درآمد حاصل از فروش آب آبیاری به کشاورزان: این شاخص با استفاده از ضرب کردن 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 می‌شود. در درجه اول باید ذکر شود که داده‌های ورودی و خروجی به کار رفته در این مطالعه به هیچ عنوان وزن‌دهی نشده‌اند. نکته 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. به عبارت 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 رضائی ترخورانی 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<sup>۱</sup> برای این مدل می‌گردند. وزن‌دهی داده‌های ورودی و خروجی برای مدل DEA در خارج از آن (تحت سناریوهای متعدد) تنها در صورتی امکان‌پذیر است



مجموع اراضی تحت پوشش این چهار شبکه آبیاری ۳۹۱۰۹ هکتار است که بیشترین داده‌های ورودی سطح تحت پوشش در شبکه آبیاری شمال شرق اهواز با ۱۷۳۰۵ هکتار و پس از آن در شبکه آبیاری میان‌آب شوشتر با ۹۲۶۵ هکتار است. در مجموع، میزان آب ورودی برای کلیه شبکه‌های مورد مطالعه، ۳۰۴ متر مکعب بر ثانیه است؛ در بین چهار شبکه، آب ورودی به شبکه آبیاری گتوند، با حدود ۱۲۷ متر مکعب بر ثانیه، رتبه نخست را از نظر این داده ورودی داراست. یکی از مهمترین داده‌های ورودی، مربوط است به هزینه تعمیر و نگهداری شبکه‌های آبیاری که در مجموع، هزینه‌های پرسنلی و تعمیر و نگهداری، بالغ بر ۲۴۸ میلیارد ریال در سال است و رتبه نخست در تخصیص این هزینه مربوط است به شبکه گتوند (۱۳/۷ میلیارد ریال در سال). مهمترین داده خروجی در این جدول، درآمد شبکه است. کل درآمد شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حدود ۱۴/۶۰ میلیارد ریال در سال است که شبکه 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.

شعبیه، 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 دسترس بودن داده‌های مورد نیاز و در نظر گرفتن بیشترین همگنی میان شبکه‌ها، کارایی شبکه‌های آبیاری و زهکشی گتوند، شمال شرق اهواز، شرق شعبیه 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. اندازه 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 به دلیل حجم زیاد این داده‌ها، به صورت خلاصه بر اساس نواحی ده‌گانه و چهار شبکه اصلی آبیاری و زهکشی کارون بزرگ در جدول ۱ آمده است.

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

داده‌های خروجی Output data			داده‌های ورودی Input data									شبکه‌های آبیاری Irrigation networks
درآمد حاصل از فروش آب (میلیارد ریال) Income from sale of water (billion rials)	ارزش محصول (میلیارد ریال) Product Value (Billion Rials)	سطح زیر کشت (هکتار) Cropping area (ha)	تعداد ماشین سنگین (عدد) Number of heavy vehicles (number)	تعداد ماشین سبک (عدد) Number of small cars (number)	هزینه پرسنل (میلیارد ریال) Personnel Costs (Billion Rials)	هزینه تعمیر و نگهداری (میلیارد ریال) Maintenance costs (Billion Rials)	سازه آبیگر (عدد) sluice structure (number)	طول-ظرفیت کانال (متر) Length-of capacity channel (m)	آب ورودی (متر مکعب در ثانیه) Flow rate (cubic meter per second)	سطح تحت پوشش (هکتار) Covered area (ha)	ناحیه Region	
0.91	2957	4775	7	14	42.31	11.15	60	2482	100.6	4623	گتوند Gotvand	گتوند Gotvand
9.60	2357	5125	16	14	40.92	2.55	66	312	26.8	4226	عقیلی Aghili	
10.51	5314	9900	23	28	83.22	13.70	126	2794	127.4	8849	مجموع Sum	
0.29	213	2187	2	4	11.82	0.96	44	66976	6.3	2531	ملاثنانی Mollasani	شمال شرق اهواز Shomal-e-Shargh-e-Ahvaz
0.77	669	3795	4	7	24.55	3.32	101	341922	54.1	5255	ویس Veis	
0.24	191	2189	4	7	24.59	1.99	87	158427	14.4	5264	سلامات Salamat	
0.15	92	2239	3	6	19.88	1.14	78	79567	11.6	4255	ابوفاضل Abofazel	
1.44	1165	10411	13	24	80.84	7.41	310	646892	86.3	17305	مجموع Sum	
1.43	672	3581	5	4	13.57	2.64	76	657988	44.7	3220	فاز یک Phase 1	میان آب شوشتر Mianab-e-Shoshtar
0.64	451	4343	7	5	17.52	1.56	88	233237	18.1	4157	فاز ۲ Phase 2	
0.42	345	3310	3	2	7.96	0.92	49	136868	12.2	1888	فاز ۳ Phase 3	
2.49	1469	11235	15	10	39.05	5.11	213	1028094	75.1	9265	مجموع Sum	
0.15	377	4066	10	6	15.98	2.99	48	267015	15.2	3689	شرق شعیبیه Shargh-e-shoeibieh	شرق شعیبیه Shargh-e-shoeibieh
<b>14.60</b>	<b>8325</b>	<b>35610</b>	<b>61</b>	<b>68</b>	<b>219.09</b>	<b>29.21</b>	<b>697</b>	<b>1944795</b>	<b>304.0</b>	<b>39109</b>	<b>جمع کل Total</b>	

## نتایج و بحث

خالص در مدل RDEA به ترتیب امتیازات ۰/۳۲، ۰/۴۶ و ۰/۶۲ را دارد. دلیل پایین بودن کارایی 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 شعبیه و میان‌آب شوشتر، از نظر میزان کارایی، به ترتیب در رتبه دوم و سوم قرار دارند. میانگین کارایی فنی خالص در هر دو سطح احتمال  $p$  و عدم اطمینان معین، بزرگتر یا مساوی میانگین کارایی فنی است که نشان‌دهنده مهارت بالای مدیران تصمیم‌گیرنده در شبکه‌ها در ترکیب بهینه داده‌های ورودی است. ناحیه ملاثانی در شبکه آبیاری شمال شرق اهواز (در هر دو مدل) و ناحیه شرق شعبیه (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 به دست 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 به نظر می‌رسد.

پس از فرآوری اولیه 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 ( $\epsilon=0/1$ ) و دو سطح احتمال انحراف از محدودیت ۵۰ و ۱۰۰ درصد در جدول ۲ ارائه شده است. یادآوری می‌شود که سطح احتمال ۱۰۰ درصد ( $p=1$ ) 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 ناحیه عقیلی در تمامی سناریوهای عدم حتمیت، امتیاز کارایی ۱ را به دست آورده است، می‌توان آن را به عنوان واحد شاخص در بین نواحی ده‌گانه معرفی کرد. شبکه آبیاری گتوند از نظر کارایی فنی، کارایی مقیاس و کارایی فنی خالص در مدل DEA به ترتیب میانگین امتیاز ۰/۹۹، ۱ و ۰/۹۹ را کسب کرده است و از این‌رو در بین چهار شبکه مورد بررسی، رتبه اول را دارد. نتایج فوق در مدل RDEA با  $p=0/5$  نیز صادق است. کمترین میزان انواع کارایی در تمام سناریوهای عدم حتمیت را در شبکه آبیاری شمال شرق اهواز و به‌ویژه ناحیه سلامت، می‌توان دید که در کارایی فنی، کارایی مقیاس و کارایی

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%

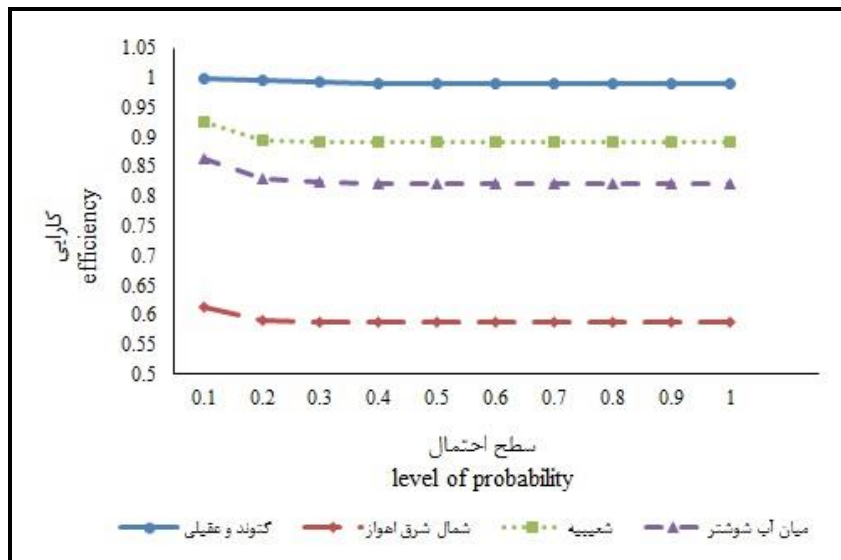
(RDEA)p= ۰/۵			(DEA)p= ۱			ناحیه Region	شبکه‌های آبیاری Irrigation networks
کارایی فنی خالص Pure technical efficiency	کارایی مقیاس Scale efficiency	کارایی فنی Technical efficiency	کارایی فنی خالص Pure technical efficiency	کارایی مقیاس Scale efficiency	کارایی فنی Technical efficiency		
0.97	0.99	0.97	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	ملائانی 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	فاز ۲ Phase 2	
0.92	0.86	0.83	0.92	0.89	0.86	فاز ۳ 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	میانگین کل Average	میانگین کل

که شبکه‌های آبیاری گتوند و عقیلی، در رتبه نخست کارایی برای تمام سطوح احتمال p قرار دارند. نکته 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 صیوحی (Sabouhi & Mardani, 2017) و مردانی و همکاران (Mardani et al., 2013) این

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 شبکه آبیاری تحت مطالعه در سطوح متفاوت p نشان می‌دهد که مؤید نتایج حاصل از تحلیل جدول ۲ است و نشان می‌دهد

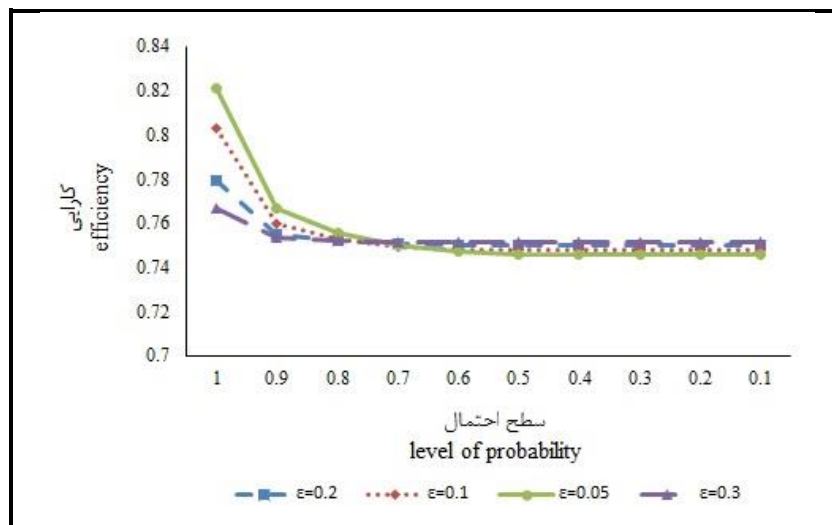
سالارپور (Mardani & Salarpour, 2015) بیشتر به دلیل تشابه مدل‌های استفاده شده است. شکل ۳، تحلیل حساسیت کارایی مقیاس در کل شبکه آبیاری و زهکشی کارون بزرگ را نسبت به دو پارامتر عدم حتمیت ( $P$  و  $\epsilon$ ) نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در یک سطح عدم اطمینان معین، نتایج تحلیل حساسیت، بنا به همان دلایل گفته شده، مشابه نتایج سطوح متفاوت احتمال در شکل ۱ است.

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 به کار برده‌اند. البته حساسیت کمتر داده‌های ورودی و خروجی در مطالعه حاضر در مقایسه با مطالعات مذکور نسبت به عدم 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



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  $p$

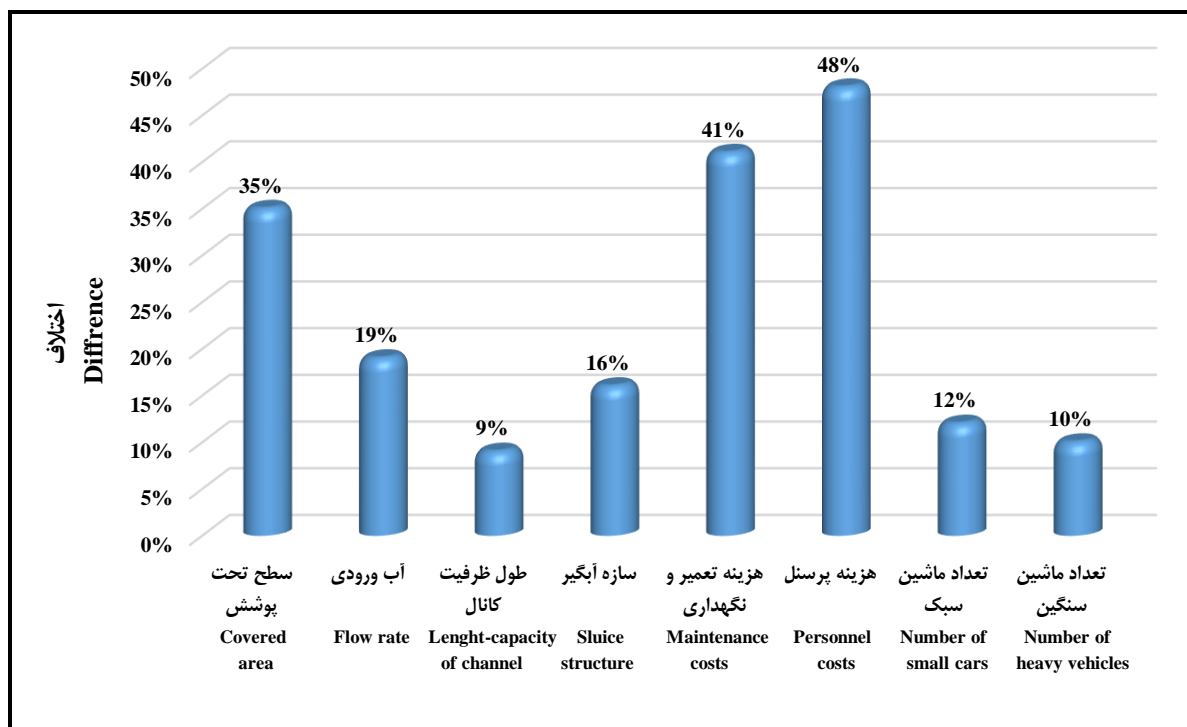


شکل ۳- تحلیل حساسیت مقدار کارایی مقیاس کل شبکه در سطوح متفاوت  $p$  و  $\epsilon$

Figure 3- Sensitivity analysis of the scale efficiency level of total network at different levels of  $p$  and  $\epsilon$

نگهداری طبیعی است و نتایج این تحقیق به صورت مستند بر این امر صحت می‌گذارد. از دیگر عوامل مهم در ناکارایی شبکه‌ها، سطح تحت پوشش شبکه است که بین مقدار واقعی و مقدار بهینه آن ۳۵ درصد اختلاف وجود دارد. به عبارت دیگر، برخی از شبکه‌ها به رغم وسعت زیاد اراضی تحت پوشش خود، در مقایسه با شبکه‌های با اراضی کمتر، خروجی کمتری دارند. با بررسی ورودی سطح زیرکشت به عنوان 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 به همراه اثر مضاعف دو عامل اصلی دیگر یعنی هزینه‌های پرسنلی و عملیاتی، منجر به ایجاد اختلاف زیاد در مقدار بهینه و واقعی این ورودی می‌شود.

یکی از مزایای استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها، توانایی این روش در ارائه مصرف بهینه نهاده‌ها برای واحدهای تصمیم‌گیر غیرکارا نسبت به واحدهای کاراست. به عبارت 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 شبکه آبیاری در سطح کشور پرداختند، مشخص کردن علت 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 به ترتیب با ۴۸ و ۴۱ درصد اختلاف در مصرف واقعی و بهینه این نهاده‌هاست. به عبارت دیگر، تفاوت اصلی شبکه‌های کارا و غیرکارا در مدیریت و کنترل این دو هزینه 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 پایین دست کارون بزرگ که شبکه‌های آبیاری مانند شبکه شمال شرق اهواز وجود دارد، به دلیل افت کیفیت منابع آب و خاک و ایجاد خرابی در کانال‌های این شبکه‌ها، بالا بودن هزینه‌های تعمیر و



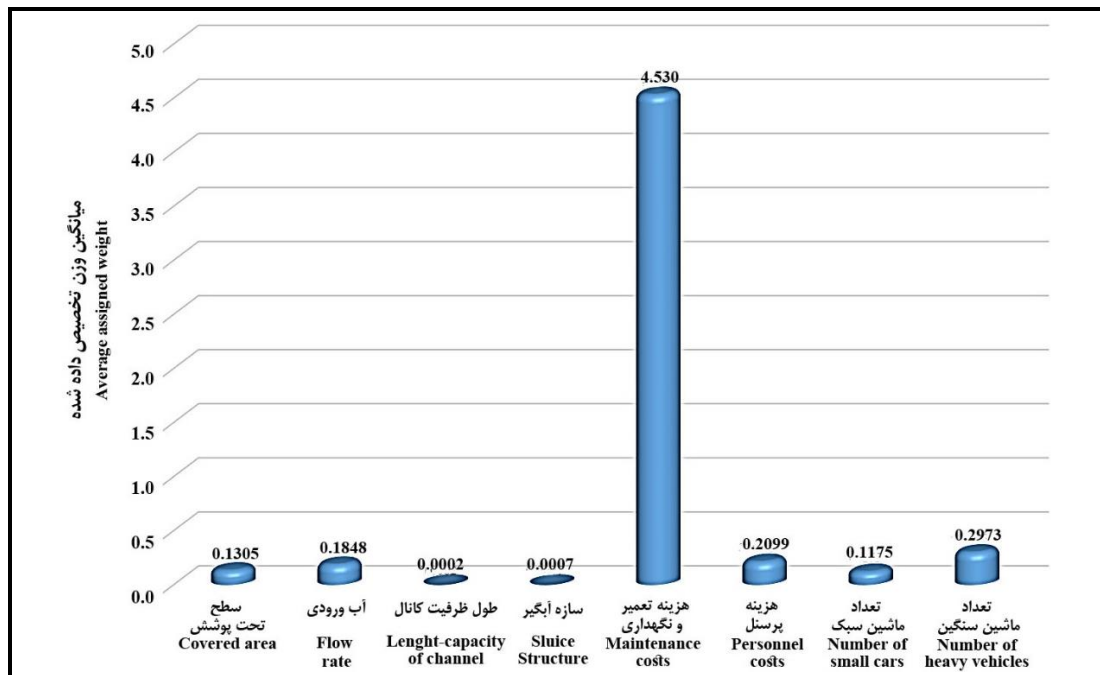
شکل ۴- درصد اختلاف میان مقدار واقعی مصرف نهاده‌ها و مقدار بهینه مصرف نهاده‌ها در شبکه‌های ناکارا

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

شبکه‌های آبیاری و زهکشی کارون بزرگ متأثر از این دو ورودی نیست. درستی این ادعا با حذف همزمان این دو داده ورودی از مدل RDEA به اثبات رسید؛ به طوری که 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 به دلیل 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 به صورت ضمنی به آن اشاره شده است. بنابراین، در کلیه تحلیل‌های صورت گرفته این دو ورودی حضور داشته‌اند.

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 زمینه 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



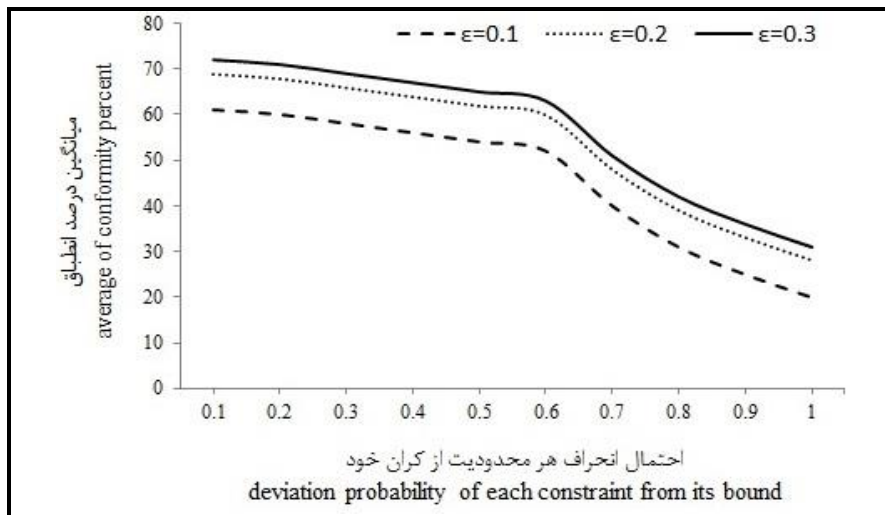


شکل ۵- میانگین وزن‌های تخصیص داده شده به داده‌های ورودی با مدل RDEA

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

هفت هزار رتبه‌بندی (۷۰ درصد) دقیقاً با رتبه‌بندی اولیه مطابقت دارد. دیده می‌شود که با افزایش سطح احتمال، درصد انطباق در حال کاهش است؛ به طوری که 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 مسئله عدم حتمیت در ارزیابی کارایی شبکه‌های آبیاری و زهکشی کارون بزرگ دارد. این نتیجه با نتایج مطالعات شکوهی و همکاران (Shokouhi *et al.*, 2010)، مردانسی و صبوحی (Sabouhi & Mardani, 2017) و مردانی و ضیایی (Mardani & Ziaei, 2015) همخوانی دارد.

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. به عبارت دیگر، در این فرایند برای هر  $p$  و  $\epsilon$  ۱۰ هزار رتبه‌بندی جدید حاصل می‌شود. این رتبه‌بندی‌ها بعداً با رتبه‌بندی اولیه مقایسه و در صورت وجود اختلاف، به عنوان 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  $\epsilon$  نشان می‌دهد. برای نمونه، در سطح احتمال  $p=0/1$  و  $\epsilon=0/1$ ، درصد انطباق حدود ۷۰ است. مفهوم این عدد این است که از ۱۰ هزار رتبه‌بندی ایجاد شده با اعداد تصادفی، حدود



شکل ۶- نتایج حاصل از شبیه‌سازی مونت کارلو در اعتبارسنجی مدل RDEA

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

محافظة کاری، میانگین کارایی شبکه‌ها کاهش می‌یابد. بررسی علل ناکارایی نشان می‌دهد که هزینه‌های پرسنلی و تعمیر و نگهداری شبکه‌ها بیشترین نقش را در ناکارایی شبکه‌ها دارند. اعتبارسنجی مدل RDEA با شبیه‌سازی مونت کارلو نشان می‌دهد که در ۶۰ تا ۷۰ درصد موارد رتبه‌بندی کارایی تغییری دیده نمی‌شود و این نشان از مناسب بودن روش RDEA در مطالعه حاضر است. با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه، پیشنهادها زیر ارائه می‌شود.

- الگو قرار دادن شبکه‌های پیشرو در کارایی (شبکه آبیاری گتوند) در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی کارون بزرگ.

- هزینه تعمیر و نگهداری قابل توجه است و از این رو 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 هزینه تعمیر و نگهداری و ناکارایی برخی از شبکه‌های پایین دست از جمله شبکه شمال شرق اهواز، پایین بودن کیفیت منابع آب و خاک در این شبکه‌ها گزارش شده است. نبود

### 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 خواهد کرد. 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 این رو، در مطالعه حاضر، از روش تحلیل پوششی داده‌ها با پارامترهای کنترل‌کننده میزان محافظه‌کاری برای ارزیابی کارایی شبکه‌های آبیاری و زهکشی کارون بزرگ استفاده شد. هشت داده ورودی و ۳ داده خروجی برای بررسی کارایی چهار شبکه آبیاری و زهکشی تعریف و محاسبات اولیه روی آن دنبال شد. پس از حل مدل مورد نظر، مشخص گردید شبکه گتوند از نظر کارایی در رتبه اول است و پس از آن شبکه‌های شرق شعیبیه، میان آب شوشتر و شمال شرق اهواز قرار دارند. نتایج تحقیق همچنین نشان داده‌است که با افزایش میزان

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

شبکه‌های آبیاری و زهکشی کارون بزرگ باعث افزایش کارایی این پرسنل و به تبع آن افزایش کارایی شبکه‌ها می‌شود.

در مطالعات بعدی، استفاده از مدل RDEA به دلیل انعطاف این مدل در شرایط متفاوت محافظه‌کاری و ارائه گزینه‌های مختلف و نتایج اعتبارسنجی مدل توصیه می‌شود.

- برگزاری دوره‌های آموزشی متعدد برای پرسنل

### قدردانی

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی تعیین کارایی شبکه‌های آبیاری و زهکشی کارون 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. Lett.* 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., Lansley, 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)
- Lertwasirikul, 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)

## **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: 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