اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۹، شمارهٔ ۱۱۴، تابستان ۱۴۰۰

DOI: 10.30490/AEAD.2021.297704.1077

مقاله پژوهشی

کاربرد تحلیل پوششی داده‌های استوار در برآورد کارآیی فنی: مطالعهٔ موردی واحدهای بزرگ‌مقیاس مرغ گوشتی شهرستان ساری

فاطمه یاوری[۱]، سیدعلی حسینی‌یکانی[۲]، مصطفی مردانی نجف‌آبادی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۳

چکیده

عدم قطعیت از ویژگی‌های برجسته مسائل دنیای واقعی است. از آنجا که تغییر هر چند کوچک در داده‌های ورودی می‌تواند نتایج حاصل از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) را به‌گونه‌ای چشمگیر تغییر دهد، به‌کارگیری راه‌های مقابله با عدم قطعیت از جنبه‌های اجتناب‌ناپذیر استفاده از این مدل‌هاست. از این‌رو، در پژوهش حاضر، برای بررسی کارآیی فنی واحدهای مرغ گوشتی با ظرفیت

۱- دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
(yavarifateme87@gmail.com)
۲- نویسندهٔ مسئول و دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
(hosseiniyekani@gmail.com)
۳- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.
(m.mardani@asnrukh.ac.ir)

بالاتر از سی هزار قطعه در شهرستان ساری، از ترکیب بهینه‌سازی استوار با مدل تحلیل پوششی داده‌ها بهره گرفته شد. نتایج حاصل از مدل تحلیل پوششی داده‌های استوار نشان داد که در سطح عدم قطعیت معین (ε=۰/۱)، با افزایش درجه محافظه‌کاری مدل از صفر به هشت، میانگین کارآیی از ۹۶ به ۹۳ درصد و تعداد واحدهای کارآ از ۲۳ به هجده واحد کاهش می‌یابد؛ افزون بر این، بیشترین تفاوت میان مصرف مطلوب و واقعی نهاده‌ها مربوط به هزینه مصرف دارو و واکسن است. از آنجا که بیشترین هزینه دارو و واکسن هنگام مواجه شدن مرغداری‌ها با بیماری صرف می‌شود، با اعمال سیاست‌های مناسب برای پیشگیری از وقوع بیماری‌های همه‌گیر در مرغداری‌ها از جمله انتخاب جوجه‌های سالم و هم‌سن، تغذیه مناسب، بهبود شرایط لانه و تراکم مناسب در آن، معدوم‌سازی لاشه‌های طیور بیمار، استفاده از مواد ضدعفونی مناسب در مواقع لازم و همچنین، بهره‌گیری از نظر کارشناسان در تعیین زمان و مقدار مناسب واکسن و دارو، می‌توان به افزایش کارآیی واحدهای ناکارآ بسیار کمک کرد.

کلیدواژه‌ها: *بهینه‌سازی استوار، تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، ساری (شهرستان)، مرغ گوشتی، RDEA.*
طبقه‌بندی JEL : Q12, D81, C67, C61

مقدمه

نیل به رشد بهره‌وری نیازمند تحولات فناوری، بهبود کارآیی و یا ترکیبی از این دو است که با توجه به دشوار بودن ایجاد تغییرات عمده در فناوری کشورهای در حال توسعه، افزایش کارآیی فنی راه‌حلی اساسی در این راستا محسوب می‌شود (Abdi et al., 2016).

در سال‌های اخیر، گوشت مرغ به‌عنوان یکی از منابع پروتئین حیوانی به‌گونه‌ای گسترده در تغذیه انسان مورد استفاده قرار گرفته و در بعضی از کشورها که از نظر شرایط طبیعی و مراتع با کمبود مواجه‌اند، جایگزین گوشت سایر دام‌ها شده است. در ایران نیز صنعت مرغداری از مهم‌ترین زیربخش‌های کشاورزی محسوب می‌شود و دوسوم گوشت مصرفی را به خود اختصاص داده است. طبق گزارش سازمان خواربار و کشاورزی (FAO, 2014)، مصرف سرانه گوشت مرغ در کشور، از ۱۳/۳ کیلوگرم در سال ۱۳۸۰ به ۲۵/۹ کیلوگرم در سال ۱۳۹۰

افزایش یافته است. از سوی دیگر، میزان تولید مرغ گوشتی نیز با متوسط رشد سالانه ۶/۷۱ درصد، از ۱۲۳۷ هزار تن در سال ۱۳۸۴ به ۲۱۲۲/۵ هزار تن در سال ۱۳۹۴ رسیده است (OAJ, 2016).

افزایش چشمگیر تولید گوشت مرغ طی سال‌های گذشته حاکی از هدایت بخش قابل ملاحظه‌ای از سرمایه کشور به‌سوی این صنعت است؛ با این حال، بر اساس آمار دهه‌های گذشته، رشد آن سیر نزولی را طی کرده است. همچنین، با وجود کشورهای همسایه‌ای نظیر عربستان، روسیه، امارات متحده عربی و عراق که از بزرگ‌ترین واردکنندگان گوشت مرغ به‌شمار می‌روند، هنوز نه‌تنها صادرات این محصول به‌صورت مستمر انجام نشده است، بلکه در برخی مواقع، اقدام به واردات گوشت مرغ و تخم‌مرغ می‌شود. از جمله مشکلات مهم این صنعت پایین بودن راندمان تولید، بالا بودن ضریب تبدیل غذایی، بالا بودن هزینه تمام‌شده و غیررقابتی بودن آن در بازار جهانی است. استفاده کارآمد و بهینه از عوامل تولید و امکانات موجود می‌تواند راهی برای افزایش تولید، کاهش قیمت تمام‌شده و در نتیجه، افزایش توان رقابتی و صادراتی کشور باشد (Esfahani and Khazaei, 2011).

استان مازندران جایگاهی ویژه در تولید گوشت سفید دارد و با برخورداری از ۱۷۱۴ واحد مرغداری گوشتی و تولید ۲۱۸/۹۳ هزار تن گوشت مرغ، رتبه اول تولید و رتبه دوم تعداد واحد مرغداری گوشتی پس از اصفهان را به خود اختصاص داده است (SCI, 2016). در این میان، شهرستان ساری، با ۲۲۲ واحد، بیشترین تعداد مرغداری گوشتی استان مازندران را در خود جای داده و پس از شهرستان آمل، دارای بیشترین میزان تولید گوشت سفید (۱۹/۳ درصد) و جمعیت مرغ گوشتی (۱۹/۷ درصد) استان است (MOAJ, 2016). بر پایهٔ آنچه گفته شد، صنعت مرغداری در شهرستان ساری بسیار اهمیت دارد و از این‌رو با توجه به اهمیت آن، هم به‌عنوان منبع درآمدی تولیدکنندگان گوشت مرغ در این شهرستان و هم به‌عنوان تأمین‌کننده بخش عمده‌ای از پروتئین مورد نیاز کشور، یافتن راه حلی برای بهبود راندمان صنعت مرغداری در این شهرستان تأثیری به‌سزا در افزایش رفاه جامعه خواهد داشت.

هدف‌گذاری برای افزایش کارآیی راهی مطمئن برای افزایش تولید است. بنابراین، با بررسی سطح کارآیی واحدهای این صنعت و همچین، معرفی الگوهای مناسب، می‌توان به افزایش سطح تولید و بهبود راندمان این واحدها بسیار کمک کرد.

روش‌های گوناگون برای ارزیابی عملکرد واحدهای تولیدی وجود دارد، که می‌توان آنها را در دو دسته پارامتری و ناپارامتری طبقه‌بندی کرد. در روش‌های پارامتری، با برآورد تابع تولید از طریق الگوهای متفاوت، کارآیی واحدها تعیین می‌شود، که همین متفاوت بودن میزان کارآیی با در نظر گرفتن توابع تولید مختلف یکی از مشکلات روش‌های پارامتری است. از پرکاربردترین روش‌های ناپارامتری می‌توان به تحلیل پوششی داده‌ها[1] اشاره کرد، که از مهم‌ترین ویژگی‌های آن عدم نیاز به شکلی خاص از توزیع یا تابع ریاضی است (Sadrnia et al., 2017).

در زمینه استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) برای بررسی کارآیی واحدهای مرغداری، مطالعات داخلی و خارجی گوناگون انجام گرفته است که در پی، پاره‌ای از این پژوهش‌ها یادآوری و تشریح می‌شود.

صدرنیا و همکاران (Sadrnia et al., 2017) به بررسی روند مصرف انرژی در مرغداری‌های گوشتی شهرستان مشهد در سال **۱۳۹۲** پرداختند و بدین نتیجه رسیدند که واحدهای مرغداری گوشتی این شهرستان، با میانگین کارآیی فنی خالص **۰/۹۹**، در سطح مناسب قرار دارند. پاینده و همکاران (Payandeh et al., 2016) نیز با استفاده از این روش، کارآیی فنی واحدهای مرغ گوشتی را در شهرستان اصفهان ارزیابی کردند و چنین نتیجه گرفتند که بیشترین اختلاف بین واحدهای کارآ و ناکارآ مربوط به نهاده‌های تجهیزات، سوخت و نیروی کار است؛ همچنین، واحدهای با ظرفیت بالاتر از سی هزار قطعه کارآیی بیشتری نسبت به سایر واحدها دارند.

1. Data Envelopment Analysis (DEA)

از جمله مطالعات خارجی در این زمینه، عمر (Ommar, 2014)، با استفاده از مدل DEA با بازده متغیر نسبت به مقیاس، کارآیی واحدهای مرغداری گوشتی را در کشور مصر محاسبه کرد. در این مطالعه، واحدها به سه دسته کمتر از پنج هزار، بین پنج تا ده هزار و بیشتر از ده هزار قطعه تقسیم شده بودند و بیشترین میانگین کارآیی (۰/۸۴) متعلق به مرغداران با ظرفیت بالاتر از ده هزار قطعه بود.

اگرچه روش تحلیل پوششی داده‌ها ابزاری قدرتمند برای بررسی کارآیی واحدهای همگون است، اما بالا بودن حساسیت این روش به تغییر مقدار داده‌های ورودی و خروجی از اعتبار نتایج رتبه‌بندی آن می‌کاهد، به‌گونه‌ای که با یک نوسان کوچک در مقادیر ورودی و خروجی، ممکن است تغییراتی عمده در میزان کارآیی و رتبه‌بندی واحدها ایجاد شود (Mardani et al., 2013).

به‌طور کلی، در مدل DEA متداول، از داده‌های دقیق و قطعی برای سنجش کارآیی واحدهای تصمیم‌گیرنده استفاده می‌شود؛ اما از آنجا که در دنیای واقعی، تصمیم‌گیرنده با شرایط ریسکی و عدم قطعیت روبه‌روست، نمی‌توان مقادیری دقیق را برای هر کدام از ستاده‌ها و نهاده‌ها مشخص کرد (Babaei et al., 2012). از این‌رو، عدم قطعیت و راه‌های مواجه شدن با آن از جنبه‌های اجتناب‌ناپذیر استفاده از الگوی DEA است. تاکنون بای بررسی عدم قطعیت در مدل DEA، رویکردهای مختلف معرفی شده است، که این رویکردها را می‌توان در پنج دسته DEA با محدودیت شانس[1]، DEA غیردقیق[2]، DEA فازی[3]، DEA خودپردازی‌شده[4] و در نهایت، DEA استوار[5] طبقه‌بندی کرد. روش DEA با محدودیت شانس (CCDEA) بر این فرض استوار است که داده‌ها ماهیت تصادفی داشته و تابع توزیع آنها مشخص است. در این روش، محدودیت‌ها با توجه به محدودیت‌های شانس معین می‌شود و سپس، حل مدل DEA با

1. Chance Constrain DEA (CCDEA)
2. Imprecise DEA (IDEA)
3. Fuzzy DEA (FDEA)
4. Bootstrap DEA (BDEA)
5. Robust DEA (RDEA)

شیوهٔ برنامه‌ریزی درجه دوم صورت می‌گیرد. عمده‌ترین محدودیت برنامه‌ریزی تصادفی این است که در این روش، هنگام استفاده از توابع توزیع مختلف، امتیازات کارآیی تغییر می‌کند. از آنجا که معمولاً در کاربردهای واقعی، دانشی آشکار از توزیع احتمالی داده‌های دارای عدم قطعیت در اختیار نیست، اعتبار جواب این مدل‌ها کاهش می‌یابد. در همین زمینه، DEA غیردقیق (IDEA) الگوی دیگری است که توسط کوپر[1] و همکارانش در سال ۱۹۹۹ معرفی شده است. در این روش، بازه‌های مختلف برای ورودی‌ها و خروجی‌ها در نظر گرفته می‌شود و نتایج امتیازات کارآیی نیز بازه‌ای خواهد بود. از آنجا که در این رویکرد، مدل DEA به مدل غیرخطی تبدیل می‌شود، یافتن جواب بهینه دشوار است. از دیگر مشکلات این روش دشواری در تفسیر و ارزیابی حدود پایین و بالای کارآیی محاسبه‌شده است. در روش DEA فازی (FDEA) برای مدل‌سازی عدم قطعیت در داده‌ها، ورودی‌ها و خروجی‌ها به‌عنوان اعداد فازی در نظر گرفته می‌شود. سنگوپتا[2]، برای نخستین بار در سال ۱۹۹۲، مدل DEA فازی را با تابع هدف و محدودیت‌های فازی معرفی کرد. پس از آن، در سال ۲۰۰۰، کائو و لیو[3]، برای برآورد رتبه‌های کارآیی، از تابع عضویت درجات فازی کارآیی استفاده کردند و در سال ۲۰۰۱، گو و تاناکا[4] نیز به بهره‌گیری از اعداد فازی مثلثی متقارن در مدل DEA فازی خود پرداختند؛ اما الزام چشم‌پوشی از بخشی از اطلاعات روی داده‌های نامطمئن محدودیتی است که استفاده از روش‌های فازی در این زمینه به‌همراه دارد. سیمار و ویلسون[5]، در سال ۱۹۹۸، به‌منظور مقابله با عدم قطعیت در داده‌ها، با استفاده از فرآیند خودپردازی در مدل DEA یا همان روش DEA خودپردازی‌شده (BDEA)، دست به ساختن دامنه اطمینان برای امتیازات کارآیی زدند. در این روش، فرض بر این است که جمعیت نامتناهی از واحدهای تصمیم‌گیری وجود داشته و مجموعه حاضر نمونه‌ای از این جمعیت است. بنابراین، روش خودپردازی برای نمونه‌گیری و

1. Cooper
2. Sengupta
3. Kao and Liu
4. Guo and Tanaka
5. Simar and Wilson

ایجاد مجدد واحدهای تصمیم‌گیری به‌کار گرفته می‌شود. در نهایت، برای دستیابی به نمرات کارآیی باثبات و رتبه‌بندی قابل اطمینان‌تر، از ترکیب برنامه‌ریزی استوار[1] با مدل DEA استفاده شده است. از مهم‌ترین مزایای استفاده از RDEA یافتن پاسخ بهینه نقطه‌ای، عدم التزام به آگاهی از توزیع داده‌ها و عدم اجبار در چشم‌پوشی از بخشی از اطلاعات روی ضرایب عدم اطمینان است (Omrani, 2013).

از پژوهش‌های صورت‌گرفته در زمینه مقابله با عدم قطعیت در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها، می‌توان به پژوهش هوشیار و همکاران (Houshyar et al., 2012) اشاره کرد که به بهره‌گیری از مدل‌های فازی و تحلیل پوششی داده‌ها برای بررسی پایداری و کارآیی تولید ذرت استان فارس پرداخته و نتیجه گرفته است که بیشترین واحدهای کارآ به لحاظ مدل DEA کلاسیک، از نظر شاخص‌های پایداری در سطوح پایین و متوسط قرار دارند. سفیدپری و همکاران (Sefeedpari et al., 2012) نیز با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی (FDEA) با رهیافت برش آلفا، به بررسی کارآیی واحدهای پرورش گاو شیری در استان تهران پرداختند و نتایج نشان داد که از میان واحدهای مورد بررسی، تنها دو واحد نسبت به حالت‌های فازی حساسیت دارند. بابایی و همکاران (Babaei et al., 2012)، به‌منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت در داده‌ها، مدل DEA بازه‌ای (IDEA) را برای بررسی کارآیی فنی محصولات کشاورزی شهرستان جهرم در سال ۱۳۸۸ به‌کار بردند. طبق نتایج این مطالعه بازه کارآیی‌ها برای محصولات مورد بررسی بزرگ بوده، که بیانگر وجود ریسک و نااطمینانی در تولید محصولات کشاورزی آن منطقه است. در خارج از ایران نیز مین و وان خان (Minh and Van Khanh, 2011)، با استفاده از روش DEA با محدودیت‌های شانس (CCDEA)، به بررسی کارآیی فنی کشاورزان ویتنامی در دو بخش متفاوت از نظر فناوری کشاورزی پرداختند و سهم هر کدام از این دو بخش را تعیین کردند. همچنین، کریموف (Karimov, 2013)، برای مقابله با تورش ناشی از نمونه‌گیری، از رهیافت خودپردازی در تحلیل پوششی داده‌ها استفاده کرده و

1. robust programming

برای بررسی کارآیی فنی تولیدکنندگان سیب‌زمینی و هندوانه در دو منطقه از ازبکستان، مدل BDEA دوسطحی را به‌کار گرفته است. چبیل و همکاران (Chebil et al., 2014) نیز با استفاده از اطلاعات ۱۷۰ کشاورز در سال زراعی ۲۰۱۰– ۲۰۱۱، به بررسی کارآیی آبیاری مزارع گندم منطقه چیکا در کشور تونس پرداختند. در این مطالعه، با توجه به وجود عدم قطعیت در داده‌ها، از مدل تحلیل پوششی داده‌های تصادفی[1] استفاده شده است.

در بخش کشاورزی، تنها در سال‌های اخیر، مطالعاتی محدود در زمینهٔ ترکیب بحث بهینه‌سازی استوار با تحلیل پوششی داده‌ها صورت گرفته است. در این زمینه، مردانی و ضیایی (Mardani and Ziyaee, 2016) و صبوحی و مردانی (Sabouhi and Mardani, 2017)، به‌ترتیب، برای بررسی کارآیی مزارع گندم آبی شهرستان نیشابور و سیب‌زمینی کل کشور، از مدل تحلیل پوششی داده‌های استوار (RDEA) استفاده کردند. نتایج هر دو مطالعه حاکی از بالاتر بودن مطابقت روش RDEA نسبت به روش DEA با دنیای واقعی است. از مطالعات صورت‌گرفته در خارج از کشور نیز می‌توان به مطالعه آتیسی و گلپینار (Atici and Gülpinar, 2016)، برای بررسی کارآیی مزارع زیتون در منطقه‌ای از ترکیه، اشاره کرد که در آن، نتایج مدل RDEA با مدل‌های IDEA و DEA ساده مقایسه شد و بیشترین میزان کارآیی از حالت خوش‌بینانه مدل بازه‌ای و کمترین میزان کارآیی از مدل استوار با سطح محافظت کامل در مقابل عدم قطعیت به‌دست آمد. در همین راستا، در پژوهش حاضر، با هدف برآورد کارآیی فنی واحدهای مرغ گوشتی شهرستان ساری، از رهیافت تحلیل پوششی داده‌های استوار (RDEA) استفاده شده است.

1. Stochastic DEA (SDEA)

مبانی نظری و روش تحقیق

در این قسمت، ابتدا مدل تحلیل پوششی داده‌های قطعی به‌اختصار تشریح و سپس، رهیافت بهینه‌سازی استوار بررسی می‌شود؛ و سرانجام، ترکیب این دو مدل به‌منظور غلبه بر وجود عدم قطعیت در بررسی کارآیی واحدها شرح داده می‌شود.

تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)

تحلیل پوششی داده‌ها برای نخستین بار توسط چارنز و همکاران (Charnes et al., 1978) بر مبنای چارچوب نظری فارل[1] (۱۹۵۷) ارائه شد. الگوی تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) را می‌توان از جنبه‌های گوناگون تقسیم‌بندی کرد. از مهم‌ترین این تقسیم‌بندی‌ها می‌توان به دو دیدگاه بازده نسبت به مقیاس و گرایش (جهت) الگو اشاره کرد. در دیدگاه اول، الگوی DEA به دو دسته DEA با بازده ثابت نسبت به مقیاس (مدل CCR) و DEA با بازده متغیر نسبت به مقیاس (مدل BCC) تقسیم‌بندی می‌شود؛ و در دیدگاه دوم، بررسی کارآیی واحدهای تصمیم‌گیری از دو جنبهٔ نهاده‌محور و ستاده‌محور صورت می‌گیرد. در پژوهش حاضر، از فرم مضربی الگوی CCR با رویکرد نهاده‌محور استفاده می‌شود. از این‌رو، در پی، این الگو با در نظر گرفتن n واحد تصمیم‌گیری، m نهاده و s محصول تبیین می‌شود (Charnes et al., 1978).

$$\max e = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}$$

$$s.t.$$

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} = 1 \qquad i = 1,...,m \qquad (۱)$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0 \quad j = 1,...,n$$

$$u_r, v_i \ge 0 \qquad r = 1,...,s$$

1. Farrell

در اینجا، x_{ij} مقدار نهاده iام واحد تصمیم‌گیری jام و y_{rj} محصول rام آن واحد تصمیم‌گیری و u_r و v_i نیز وزن‌های محصولات و نهاده‌هاست؛ همچنین، y_{ro} و x_{io} میزان محصولات و نهاده‌های واحد مورد بررسی را نشان می‌دهند.

همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، مدل‌های کلاسیک DEA با فرض قطعی بودن میزان نهاده‌ها و ستاده‌ها، کارآیی واحدهای تصمیم‌گیری (DMUs) را با استفاده از داده‌های اسمی بررسی می‌کنند و توانایی برخورد با عدم قطعیت در داده‌ها را ندارند. به همین دلیل، با توجه به عدم قطعیت در داده‌های واقعی، باید الگوی DEA در برابر تغییرات مقاوم شود. در پژوهش حاضر، برای مقابله با عدم قطعیت در داده‌ها، از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده می‌شود که در پی، به معرفی اجمالی این رهیافت پرداخته شده است.

بهینه‌سازی استوار

رویکرد بهینه‌سازی استوار روش‌های ریسک‌گریز قدرتمندی را برای مقابله با عدم قطعیت در مسائل برنامه‌ریزی ریاضی ارائه کرده است. سویستر (Soyster, 1973)، برای نخستین بار، روش برنامه‌ریزی استوار را برای برخورد با مسائل برنامه‌ریزی خطی غیردقیق معرفی کرد. این مدل‌ها را از لحاظ درجه محافظه‌کاری می‌توان در سه دسته رویکرد بدبینانه سخت[1]، رویکرد بدبینانه نرم[2] و رویکرد واقع‌گرایانه[3] طبقه‌بندی کرد. رویکرد بدبینانه سخت بیشترین حد محافظه‌کاری را اعمال کرده و با در نظر گرفتن بدترین حالت، حداکثر ایمنی را در برابر عدم قطعیت فراهم می‌کند (Ben-Tal et al., 2009; Ben-Tal and Nemirovski, 1998; Soyster, 1973). رویکرد بدبینانه نرم، اگرچه مانند مدل‌های نوع اول، بدترین حالت را در نظر می‌گیرد، اما برخلاف آنها، درصدد تأمین تمام محدودیت‌ها در بدترین حالت ممکن نیست (Bertsimas and Sim, 2004; Inuiguchi and Sakawa, 1998). سرانجام رویکرد واقع‌گرایانه سعی دارد که تعادلی منطقی بین استواری، هزینه استواری و سایر اهداف مانند بهبود عملکرد متوسط نظام ایجاد کند

1. hard worst-case approach
2. soft worst-case approach
3. realistic approach

(Mulvey et al., 1995; Pan and Nagi, 2010). در این رویکرد، نقض جزئی و یا نقض برخی از محدودیت‌ها مجاز بوده و مدل به‌دنبال یک جواب استوار نسبی بر اساس ترجیحات تصمیم‌گیرنده است. جواب حاصل از این روش، برای اکثر حالات ممکن پارامترهای دارای عدم قطعیت، میسر و نزدیک به بهینه خواهد بود (Pishvaee and Khalaf, 2016).

از آنجا که در مطالعهٔ حاضر، برای استوارسازی مدل تحلیل پوششی داده‌ها، از رویکرد برتسیماس و سیم (Bertsimas and Sim, 2004) استفاده شده است، ابتدا این روش ارائه و سپس، ترکیب آن با مدل CCR توضیح داده می‌شود. رهیافت برتسیماس و سیم (Bertsimas and Sim, 2004)، افزون بر کنترل کامل بر سطح محافظه‌کاری مدل با معرفی پارامتر Γ، همتای استوار را به‌صورت خطی بیان می‌کند و بدین ترتیب، پیچیدگی حل مدل را نیز کاهش می‌دهد (Sabouhi and Mardani, 2017).

الگوی برنامه‌ریزی خطی در رابطه (۲) نشان داده شده است:

$$\max \quad Z = cx, \quad s.t. \qquad Ax \le b \qquad x \ge 0 \tag{۲}$$

که در آن، A، b و c، به‌ترتیب، ضرایب فنی، مقادیر سمت راست و ضرایب تابع هدف است. اگر در این مسئله، ماتریس A به‌صورت نامطمئن در نظر گرفته شود، می‌توان هر درایه آن را به‌صورت یک متغیر تصادفی محدود و متقارن به شکل رابطه (۳) بیان کرد:

$$\Psi = \left\{ \left(\tilde{a}_{ij} \right) \middle| \tilde{a}_{ij} = a_{ij} + \varepsilon a_{ij} \eta_{ij}, \forall i, j, \eta \in \Phi \right\} \tag{۳}$$

که در آن، $\varepsilon \ge 0$ سطح عدم قطعیت است که از پیش تعیین‌شده است؛ همچنین، a_{ij} مقدار اسمی داده‌های نامطمئن و $\eta_{ij} = \frac{\tilde{a}_{ij} - a_{ij}}{\varepsilon a_{ij}}$ متغیر تصادفی با توزیع نامشخص است که به‌صورت متقارن در بازه [-1,1] توزیع شده است. بنابراین، پارامترهای $\tilde{a}_{ij}$ به‌صورت محدود و متقارن (نه لزوماً یکنواخت) در بازه $\left[a_{ij} - \varepsilon a_{ij}, a_{ij} + \varepsilon a_{ij} \right]$ تعریف می‌شوند.

در مدل استوار برتسیماس و سیم (Bertsimas and Sim, 2004)، فرض بر این است که تنها زیرمجموعه‌ای از ضرایب نامطمئن بدترین مقدار خود را اتخاذ می‌کنند و امکان تغییر تمامی ضرایب به‌صورت هم‌زمان بسیار نادر است. بنابراین، پژوهشگران یادشده، در مدل خود، پارامتر Γ را برای تنظیم درجه محافظه‌کاری مدل معرفی کردند که بدان «بودجه عدم قطعیت» گفته می‌شود. به دیگر سخن، پارامتر Γ میزان استواری مدل در مقابل درجه محافظه‌کاری جواب را تعدیل می‌کند. طبق این فرض، مجموعه η را می‌توان به شکل رابطه (۴) بیان کرد:

$$\Phi = \left\{ \eta \middle| |\eta_{ij}| \le 1, \forall i, j, \sum_{j=1}^{n} \eta_{ij} \le \Gamma_i, \forall i \right\} \qquad (۴)$$

که در آن، پارامتر Γ برای هر محدودیت به‌صورت مجزا تعریف می‌شود و مقدار آن در بازه $[0, |J_i|]$ قرار می‌گیرد، که J_i تعداد پارامترهای نامطمئن در محدودیت i است. تغییر مقدار Γ_i در این بازه میزان محافظه‌کار بودن مدل را تعیین می‌کند، به‌گونه‌ای که اگر $\Gamma_i = 0$ باشد، محافظت در مقابل عدم قطعیت صورت نمی‌گیرد و جواب بهینه برابر با حالت اسمی خواهد بود؛ اما هنگامی که $\Gamma_i = |J_i|$ باشد محدودیت i به‌صورت کامل در مقابل عدم قطعیت محافظت می‌شود و نتایج مدل معادل نتایج مدل سویستر خواهد شد؛ در نهایت، زمانی که Γ_i در بازه $[0, |J_i|]$ قرار گیرد، یک مبادله میان سطح محافظت از محدودیت و درجه محافظه‌کاری وجود دارد. در نتیجه، می‌توان همتای استوار مدل (۲) را به‌صورت رابطه (۵) بیان کرد:

$$\begin{aligned} &\max \quad Z = cx \\ &s.t. \\ &\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j + \beta_i \left(x_j, \Gamma_i \right) \le b_i \qquad \forall i \\ &l \le x \le u, \qquad x \ge 0. \end{aligned} \qquad (۵)$$

که در آن، $\beta_i\left(x_j,\Gamma_i\right)$ تابع محافظت غیرخطی برای هر محدودیت i است که با در نظر گرفتن مجموعه C_i به‌عنوان تمامی حالات وجود پارامتر نامطمئن در هر محدودیت i، معادل رابطه (۷) است:

$$C_i=\left\{S_i\cup\{t_i\}\middle|S_i\subseteq J_i,|S_i|=\lfloor\Gamma_i\rfloor,t_i\subseteq J_i\setminus S_i\right\}, \tag{۶}$$

$$\beta_i\left(x_j,\Gamma_i\right)=\max_{C_i}\left\{\sum_{j\in S_i}\varepsilon a_{ij}y_j+\left(\Gamma_i-\lfloor\Gamma_i\rfloor\right)\varepsilon a_{it_i}y_{t_i}\right\}. \tag{۷}$$

با توجه به رهیافت برتسیماس و سیم (Bertsimas and Sim, 2004)، برای خطی‌سازی رابطه (۵)، ابتدا مسائل بهینه‌سازی داخلی حل می‌شود و سپس، با توجه به ضرایب مدل دوگانه خطی، مدل همتای استوار خطی رابطه (۲) به‌صورت رابطه (۸) بازنویسی می‌شود. متغیرهای Z_i و P_{ij} متغیرهای اضافی برای استوارسازی مدل است و در حالت بهینه $y_j=\left|x_j\right|$ خواهد بود.

$$\begin{aligned}
&\max \quad Z=cx\\
&s.t.\\
&\sum_{j=1}^{n}a_{ij}x_j+z_i\Gamma_i+\sum_{j=1}^{n}p_{ij}\le b_i, && \forall i\\
&z_i+p_{ij}\ge\varepsilon a_{ij}y_j && \forall i,j\\
&-y_j\le x_j\le y_j && \forall i,j
\end{aligned} \tag{۸}$$

تحلیل پوششی داده‌های استوار (RDEA)

در مطالعهٔ حاضر با این فرض که هم نهاده‌ها و هم ستاده‌ها در شرایط عدم قطعیت بوده و به‌ترتیب، به مجموعه عدم قطعیت U_x و U_y تعلق دارند، می‌توان همتای استوار مدل خطی CCR را به‌صورت رابطه (۱۰) ارائه کرد:

$$\begin{aligned}
U_x&=\left\{\left(\tilde{x}_{ij}\right)\middle|\tilde{x}_{ij}=x_{ij}+\varepsilon x_{ij}\eta_{ij},|\eta_{ij}|\le 1,\forall i,j;\sum_{j=1}^{n}\eta_{ij}\le\Gamma_i,\forall i\right\}\\
U_y&=\left\{\left(\tilde{y}_{rj}\right)\middle|\tilde{y}_{rj}=y_{rj}+\varepsilon y_{rj}\eta_{rj},|\eta_{rj}|\le 1,\forall r,j;\sum_{j=1}^{n}\eta_{rj}\le\Gamma_r,\forall r\right\}
\end{aligned} \tag{۹}$$

$$
\begin{aligned}
&\max \quad \theta_0 \\
&s.t. \\
&\sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro} - \beta\left(u_r, \Gamma_1^y\right) \geq \theta_0 \\
&\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} + \beta\left(v_i, \Gamma_2^x\right) = 1 \qquad i = 1,...,m \\
&\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} + \beta\left((u_r, v_i), \Gamma_{3j}^{xy}\right) \leq 0 \quad \forall j \quad j = 1,...,n \\
&u_r, v_i \geq 0 \qquad r = 1,...,s
\end{aligned}
\tag{۱۰}
$$

در اینجا، x_{ij} مقدار نهاده iام واحد تصمیم‌گیری jام و y_{rj} محصول rام آن واحد تصمیم‌گیری است؛ u_r و v_i نیز وزن‌های محصولات و نهاده‌ها هستند. همچنین، y_{ro} و x_{io} میزان محصولات و نهاده‌های واحد مورد بررسی را نشان می‌دهند. همان‌گونه که در این رابطه مشاهده می‌شود، تابع محافظت غیرخطی β برای هر محدودیت به‌صورت جداگانه تعریف شده و تابعی از متغیرهای تصمیم و پارامتر Γ آن محدودیت است. در نهایت، با استفاده از روابط (۶) و (۷)، می‌توان مجموعه C_i و تابع محافظت β را برای هر محدودیت آورده و با استفاده از آنها، همتای استوار خطی مدل تحلیل پوششی داده‌های استوار را به‌صورت رابطه (۱۱) بازنویسی کرد:

$$
\begin{aligned}
&\max \quad \theta_0 \\
&s.t. \\
&\sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro} - z_1 \Gamma_1^y - \sum_{r=1}^{s} p_{ro} \geq \theta_0 \\
&z_1 + p_{ro} \geq q_{ro} \varepsilon y_{ro} \qquad \forall r \\
&-q_{ro} \leq u_r \leq q_{ro} \qquad \forall r \\
&\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} + z_2 \Gamma_2^x + \sum_{i=1}^{m} p_{io} = 1 \\
&z_2 + p_{io} \geq q_{io} \varepsilon x_{io} \qquad \forall i \\
&-q_{io} \leq v_i \leq q_{io} \qquad \forall i \\
&\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} + z_{3j} \Gamma_{3j}^{xy} + \sum_{r=1}^{s} p_{rj} + \sum_{i=1}^{m} p_{ij} \leq 0 \quad \forall j \\
&z_{3j} + p_{rj} \geq q_{rj} \varepsilon y_{rj} \qquad \forall r, j \\
&z_{3j} + p_{ij} \geq q_{ij} \varepsilon x_{ij} \qquad \forall i, j \\
&-q_{rj} \leq u_r \leq q_{rj} \qquad \forall r, j \\
&-q_{ij} \leq v_i \leq q_{ij} \qquad \forall i, j \\
&p_{ro}, p_{io}, p_{rj}, p_{ij} \geq 0 \qquad \forall r, i, j \\
&z_1, z_2, z_{3j} \geq 0 \qquad \forall j \\
&u_r, v_i \geq 0 \qquad \forall r, i
\end{aligned}
\tag{۱۱}
$$

که در آن، z، p و q متغیرهای هستند که برای استوارسازی مدل اضافه شده‌اند و ε سطح عدم قطعیت معین در داده‌هاست. در این مدل نیز پارامتر Γ برای هر محدودیت به‌صورت مجزا تعریف می‌شود و مقدار آن در بازه $[0, |J_i|]$ قرار می‌گیرد که J_i تعداد پارامترهای نامطمئن در محدودیت i است. بنابراین، با تغییر مقدار پارامتر Γ در بازه صفر تا تعداد پارامترهای نامطمئن، می‌توان به تحلیل حساسیت مدل و سنجش تأثیر سطح محافظه‌کاری بر قابلیت اعتماد جواب بهینه پرداخت. نکته قابل توجه این است که چنانچه Γ برابر با صفر باشد، هیچ‌گونه محافظتی در مقابل عدم قطعیت صورت نخواهد گرفت و نتایج مدل‌های DEA و RDEA یکسان خواهد شد. البته، چنانچه Γ برابر با $|J_i|$ باشد، مدل به‌صورت کامل در مقابل عدم قطعیت محافظت می‌شود.

اطلاعات مورد نیاز در پژوهش حاضر با تکمیل پرسشنامه از تمامی واحدهای مرغ گوشتی شهرستان ساری با ظرفیت بالاتر از سی هزار قطعه (۳۷ واحد) در سال ۱۳۹۷ جمع‌آوری شده است. این اطلاعات شامل شش نهاده (تعداد جوجه یک‌روزه ریخته‌شده، خوراک، تعداد نیروی کار، میزان برق، سوخت و دارو و واکسن استفاده‌شده) و دو ستاده (گوشت مرغ و کود بستر تولید شده در سال ۱۳۹۶) است. همچنین، استفاده از یک نرم‌افزار بهینه‌ساز قدرتمند برای کدنویسی و حل مدل‌های توضیحی اجتناب‌ناپذیر بوده که با توجه به وسعت کاربرد نرم‌افزار GAMS، در پژوهش حاضر نیز از این نرم‌افزار استفاده شده است. روش بهینه‌سازی انتخاب‌شده برای حل این مدل CONOPT4 بود که بر اساس روش گرادیان کاهش‌یافتهٔ عمومی[1] عمل کرده و توسط شرکت مشاوره و توسعه ARKI در کشور دانمارک راه‌اندازی و توسعه داده شده است.

نتایج و بحث

در این بخش، نتایج به‌دست‌آمده از مدل تحلیل پوششی داده‌های استوار مورد بحث قرار گرفته است. بدین منظور، توصیف آماری داده‌های واحدهای مرغ گوشتی شهرستان ساری مورد استفاده در پژوهش حاضر در جدول ۱ ارائه شده است. طبق این نتایج ، دو نهاده دارو و سوخت، به‌ترتیب، با ۱۲۳/۵۱ و ۷۸/۷۲ درصد، دارای بیشترین ضریب تغییرات بودند و کمترین ضریب تغییرات، با ۳۵/۷۰ و ۴۳/۴۴ درصد، به‌ترتیب، مربوط به نهاده برق و ستاده کود است. از آنجا که تفاوت میان مقادیر حداقل و حداکثر و در نتیجه، ضرایب تغییرات تمامی داده‌ها نسبتاً بالاست؛ بررسی عدم قطعیت و استفاده از مدل‌های مقاوم در مقابل آنها ضروری به‌نظر می‌رسد.

به‌منظور حل مدل تحلیل پوششی داده‌های استوار (RDEA)، ابتدا باید مقدار پارامتر Γ را مشخص کرد. با توجه به اینکه در پژوهش حاضر، شش نهاده و دو ستاده در نظر گرفته شده است که همگی آنها نامطمئن به‌شمار می‌روند، مقدار پارامتر Γ می‌تواند در بازه [۰ ,۸] قرار

1. Generalized Reduced Gradient (GRG)

گیرد. اگر Γ برابر با صفر باشد، نتایج مدل RDEA معادل نتایج مدل DEA خواهد بود؛ و اگر Γ برابر با هشت در نظر گرفته شود، نتایج مدل معادل نتایج حاصل از ترکیب مدل DEA با مدل DEA استوار سویستر خواهد بود.

جدول ۱- توصیف آماری نهاده‌ها و ستاده‌های مرغداری‌های گوشتی شهرستان ساری

نوع داده		میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات
ستاده‌ها (خروجی)	گوشت مرغ (تن)	۴۲۱/۸۶	۱۸۰	۱۴۲۰	۲۰۰/۶۰	۴۷/۵۵
	کود (تن)	۲۸۷/۸۴	۱۵۰	۹۳۳	۱۲۵/۰۳	۴۳/۴۴
نهاده‌ها (ورودی)	خوراک (تن)	۷۶۸/۹۰	۳۹۰	۲۸۴۱	۳۹۳/۷۲	۵۱/۲۱
	نیروی کار (نفر)	۱۴/۳۲	۸	۶۰	۸/۷۲	۶۰/۸۶
	دارو (میلیون تومان)	۵۵/۷۶	۱۱/۶۰	۳۷۵	۶۸/۸۷	۱۲۳/۵۱
	سوخت (میلیون تومان)	۲۵/۲۳	۱۰/۸۰	۱۲۵	۱۹/۸۶	۷۸/۷۲
	برق (میلیون تومان)	۱۰/۱۴	۴/۸۰	۲۵	۳/۶۲	۳۵/۷۰
	جوجه (هزار قطعه)	۱۶۰/۱۴	۱۰۰	۶۰۷/۳۴	۸۳/۲۱	۵۱/۹۶

مأخذ: یافته‌های پژوهش

مقادیر میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات کارآیی به‌دست‌آمده از مدل تحلیل پوششی داده‌های استوار (RDEA) برای سطح عدم قطعیت (ε) ده درصد و سه سطح محافظه‌کاری (Γ) صفر، پنج و هشت در جدول ۲ آمده است. بر اساس نتایج این جدول، با توجه به میزان کارآیی، واحدها به چهار دسته واحدهای با کارآیی کمتر از ۰/۸، بین ۰/۸ تا ۰/۹، ۰/۹ تا ۱ و واحدهای با کارآیی ۱ تقسیم شده‌اند. مطابق با نتایج حاصل از مدل تحلیل پوششی داده‌ها، هم در شرایط قطعیت ($\varepsilon=0$) و هم در شرایط وجود عدم قطعیت ($\varepsilon=0.1$) در نهاده‌ها و ستاده‌ها، مرغداری‌های گوشتی با ظرفیت بالاتر از سی هزار قطعه در شهرستان ساری از سطح کارآیی خوبی برخوردارند. میانگین کارآیی این واحدها، حتی با در نظر گرفتن محافظت کامل ($\Gamma=8$) و سطح عدم قطعیت (ε) ده درصد، برابر با ۰/۹۳۸ است؛ و در همه حالت‌ها، تعداد اندکی از واحدها (حداکثر دو واحد) کارآیی زیر ۰/۸ دارند.

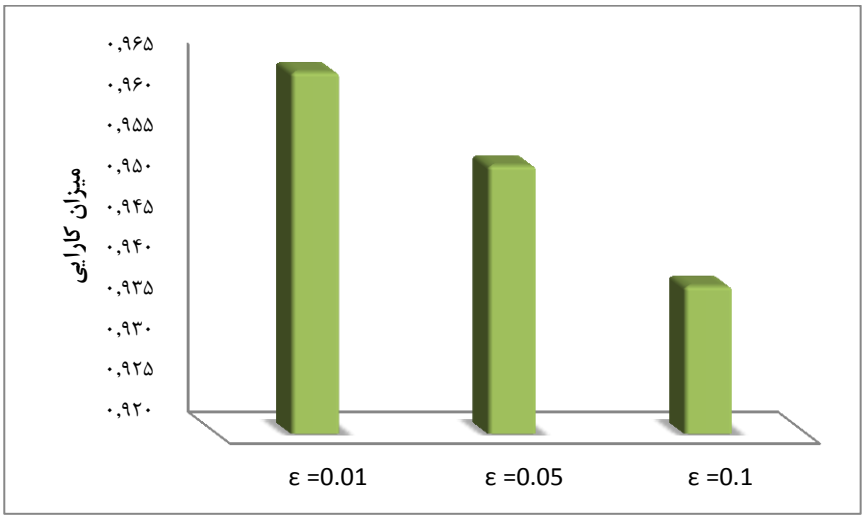
جدول ۲- نتایج کارآیی حاصل از برآورد مدل‌های DEA و RDEA با در نظر گرفتن سطوح مختلف Γ

ردیف	DEA (ε=0)			RDEA (ε=0.1)								
				Γ=0			Γ=5			Γ=8		
	تعداد	میانگین	ضریب تغییرات	تعداد	میانگین	ضریب تغییرات	تعداد	میانگین	ضریب تغییرات	تعداد	میانگین	ضریب تغییرات
<۰/۸	۱	۰/۷۸۴	ــ	۱	۰/۷۸۴	ــ	۱	۰/۷۷۳	ــ	۲	۰/۷۸۱	۲/۱۴
۰/۸-۰/۹	۵	۰/۸۵۹	۳/۷۶	۵	۰/۸۵۹	۳/۷۶	۵	۰/۸۵۲	۴/۰۵	۵	۰/۸۱۵	۳/۰۱
۰/۹-۱	۸	۰/۹۶۸	۲/۵۶	۸	۰/۹۶۸	۲/۵۶	۱۱	۰/۹۵۸	۲/۴۰	۱۲	۰/۹۲۱	۲/۷۵
۱	۲۳	۱	۰	۲۳	۱	۰	۲۰	۱	۰	۱۸	۱	۰
جمع کل	۳۷	۰/۹۶۸	۶/۰۹	۳۷	۰/۹۶۸	۶/۰۹	۳۷	۰/۹۶۱	۶/۳۹	۳۷	۰/۹۳۸	۶/۵۸

مأخذ: یافته‌های پژوهش

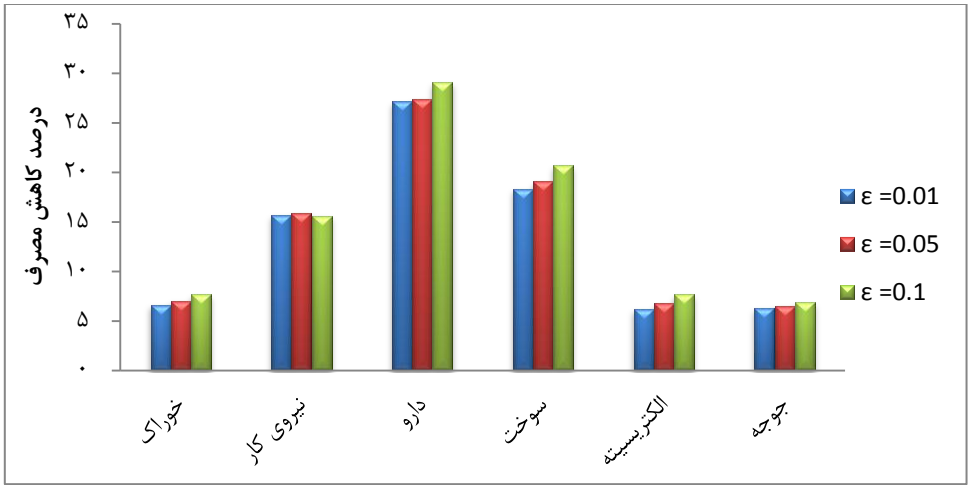
همانگونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، نتایج مدل DEA معادل نتایج مدل RDEA در Γ=۰ است. مطابق با نتایج ارائه‌شده در این جدول، با افزایش سطح محافظه‌کاری مدل، از میزان کارآیی واحدها کاسته می‌شود؛ هنگامی که سطح محافظه‌کاری (Γ) برابر با صفر باشد، تعداد ۲۳ واحد از مرغداری‌ها کارآ محسوب می‌شوند و میانگین کارآیی کل واحدها برابر با ۰/۹۶۸ است، در حالی که با افزایش Γ به پنج، تعداد واحدهای کارآ به بیست واحد و میانگین کارآیی واحدهای مرغداری به ۰/۹۶۱ کاهش می‌یابد. در نهایت، با در نظر گرفتن بالاترین سطح محافظه‌کاری، تنها هجده واحد از مرغداری‌ها کارآ محسوب می‌شوند و میانگین کارآیی برابر با ۰/۹۳۸ می‌شود. نکته دیگر اینکه با افزایش درجه محافظه‌کاری مدل، میزان ضریب تغییرات کارآیی افزایش یافته است. از آنجا که با افزایش سطح محافظه‌کاری، واحدهای کمتری به کارآیی ۱ دست می‌یابند، نوسان بیشتر حول محور میانگین منطقی به‌نظر می‌رسد. این نتایج مطالعهٔ حاضر با نتایج مطالعات مردانی و ضیایی (Mardani and Ziyaee, 2016) و صبوحی و مردانی (Sabouhi and Mardani, 2017) مطابقت دارد.

از سوی دیگر، می‌توان تأثیر سطوح عدم قطعیت بر میزان کارآیی واحدها را بررسی کرد. بدین منظور، میانگین کارآیی واحدها در سطوح عدم قطعیت متفاوت و درجه محافظه-کاری کامل (Γ=۸) در نمودار ۱ ترسیم شده است. با توجه بدین نمودار، با افزایش سطح عدم قطعیت از ۰/۰۱ به ۰/۰۵ و ۰/۱ میانگین کارآیی از ۹۶ درصد به ۹۵ و ۹۳ درصد کاهش می‌یابد.



نمودار ۱- میانگین کارآیی واحدها در سطوح مختلف ε و Γ=۸

به‌منظور تحلیل حساسیت اثر سطوح عدم قطعیت بر درصد تغییر میانگین مصرف مطلوب نهاده‌ها نسبت به میانگین مصرف در شرایط واقعی، این آماره برای سطوح عدم قطعیت یک، پنج و ده درصد و سطوح مختلف Γ محاسبه شده که برای رعایت اختصار، تنها اثر سطوح مختلف بر این آماره، در سطح Γ=۸ به‌صورت نمودار ۲ رسم شده است.



نمودار ۲- درصد کاهش میانگین مصرف مطلوب نسبت به مصرف واقعی نهاده‌ها (Γ=۸)

همان‌گونه که در نمودار ۲ مشاهده می‌شود، با افزایش سطح عدم قطعیت، درصد کاهش مصرف نهاده‌ها افزایش می‌یابد. به دیگر سخن، هرچه دامنه عدم قطعیت پارامترهای نامطمئن بزرگ‌تر می‌شود، فاصله میان مصرف فعلی و مصرف بهینه نهاده‌ها بیشتر می‌شود، که با فلسفه بهینه‌سازی استوار همخوانی دارد، زیرا هرچه سطح عدم قطعیت افزایش می‌یابد، یافتن جواب بهینه دشوارتر می‌شود، بدین معنی که هرچه دامنه عدم قطعیت بزرگ‌تر شود، واحدهای کمتری کارآ شناخته و مصرف آنها به‌صورت مصرف مطلوب در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، تفاوت میزان نهاده‌های مصرف‌شده توسط واحدهای مرغداری با سطح مطلوب مصرف آنها بیشتر خواهد بود.

میانگین مقدار واقعی و مطلوب نهاده‌های مصرفی و درصد تغییر مصرف بهینه نهاده‌ها نسبت به مقدار مصرف واقعی آنها برای ε =۰/۱ و در سطوح مختلف Γ در جدول ۳ آمده است. در این جدول نیز واحدها از نظر میزان کارآیی به چهار دسته واحدهای با کارآیی کمتر از ۰/۸، بین ۰/۸ تا ۰/۹، بین ۰/۹ تا ۱ و با کارآیی ۱ تقسیم شده‌اند. چنان‌که که در این جدول مشاهده می‌شود، بیشترین درصد تفاوت بین مصرف بهینه و مصرف واقعی، در تمامی سطوح Γ مربوط به نهاده هزینه دارو و واکسن است. از این‌رو، این نهاده از مهم‌ترین دلایل ناکارآیی واحدهای

مرغداری گوشتی شهرستان ساری است. از آنجا که بیشترین هزینه دارو مربوط به مواجه شدن مرغداری‌ها با بیماری است، با رعایت استانداردهای بهداشتی برای جلوگیری از وقوع بیماری‌های فراگیر در مرغداری‌ها، می‌توان سطح مصرف این نهاده را به مقداری قابل توجه کاهش داد. کمترین مقدار درصد تغییرات نیز به‌ترتیب، مربوط به دو نهاده تعداد جوجه یک‌روزه ریخته‌شده و خوراک است که با افزایش کارآیی واحدها (واحدهای با کارآیی کمتر از ۰/۸ تا واحدهای با کارآیی ۱)، از این مقدار کاسته شده است. از آنجا که ئر اکثر مرغداری‌های مورد بررسی، میزان جوجه‌ریزی نزدیک به ظرفیت واحدهاست و میزان دان مصرفی با توجه به تعداد جوجه تنظیم می‌شود، این دو نهاده تأثیر کمتری بر ناکارآیی واحدهای مرغداری داشته است.

از دیگر نتایج ارائه‌شده در جدول ۳، می‌توان به تأثیر درجه محافظه‌کاری بر درصد تغییر مصرف مطلوب نسبت به مصرف واقعی نهاده‌ها اشاره کرد. طبق این جدول، با افزایش درجه محافظه‌کاری، تفاوت میان مقدار واقعی و مطلوب مصرف نهاده‌ها افزایش می‌یابد. برای نمونه، برای نهاده تعداد جوجه یک‌روزه ریخته‌شده، درصد تغییرات میانگین مصرف مطلوب مجموع واحدها نسبت به میانگین مصرف واقعی آنها در حالت $\Gamma=0$ (مدل DEA) برابر با ۳/۵۷- است که با افزایش Γ به پنج و هشت، این مقدار به‌ترتیب به ۳/۸۶- و ۶/۳۵- افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه با افزایش درجه محافظه‌کاری، میانگین کارآیی واحدها کاهش یافته و واحدهای کمتری کارآ شناخته می‌شوند، مصرف نهاده واحدهای کمتری نیز بهینه به‌حساب می‌آید. بنابراین، مصرف بهینه محاسبه‌شده توسط مدل RDEA با درجه محافظه‌کاری بالاتر تفاوت بیشتری با میانگین مصرف واقعی نهاده‌ها دارد، که چه‌بسا نشان‌دهندهٔ اهمیت در نظر گرفتن شرایط توأم با عدم قطعیت در کاهش مناسب مصرف نهاده واحدهای ناکارآ برای رسیدن به کارآیی پایدار باشد. این نتایج پژوهش حاضر (جدول ۳) با نتایج مطالعه مردانی و ضیایی (Mardani and Ziyaee, 2016) مطابقت دارد.

جدول ۳- مقدار میانگین مصرف بهینه نهاده‌ها و درصد تغییرات آنها نسبت به مقدار مصرف واقعی، در سطح ε=۰/۱ با درنظر گرفتن سطوح مختلف r

		r=0				
		<۰/۸	۰/۸-۰/۹	۰/۹-۱	۱	مجموع
جوجه	مقدار بهینه	۱۱۱/۰۹	۱۲۷/۶۲	۱۳۳/۲۵	۱۶۷/۷۴	۱۵۴/۴۱
	مقدار واقعی	۱۴۱/۸۳	۱۵۱/۷۶	۱۴۳/۷۵	۱۶۷/۷۴	۱۶۰/۱۲
	درصد تغییرات	-۲۱/۶۸	-۱۵/۹۱	-۷/۳۰	۰	-۳/۵۷
برق	مقدار بهینه	۵/۹۹	۵/۸۲	۹/۳۶	۱۰/۳۷	۹/۵۴
	مقدار واقعی	۷/۹۸	۶/۸۷	۱۱/۳۵	۱۰/۳۷	۱۰/۱۴
	درصد تغییرات	-۲۴/۹۹	-۱۵/۲۶	-۱۷/۵۲	۰	-۵/۸۹
سوخت	مقدار بهینه	۱۴/۸۱	۱۸/۲۸	۱۷/۷۹	۲۴/۲۸	۲۱/۹۷
	مقدار واقعی	۱۸/۹۴	۲۵/۷۵	۲۸/۵۶	۲۴/۲۸	۲۵/۲۲
	درصد تغییرات	-۲۱/۷۶	-۲۹/۰۲	-۳۷/۷۱	۰	-۱۲/۸۸
دارو	مقدار بهینه	۳۰/۶۲	۴۴/۹۲	۴۳/۷۲	۵۶/۵۹	۵۱/۸۴
	مقدار واقعی	۸۹/۹۱	۹۴/۳۸	۹۷/۲۸	۵۶/۵۹	۷۰/۳۷
	درصد تغییرات	-۶۵/۹۴	-۵۲/۴۰	-۵۵/۰۶	۰	-۲۶/۳۳
خوراک	مقدار بهینه	۵۳۹/۹۷	۶۱۸/۱۵	۶۳۶/۰۷	۸۰۳/۱۷	۷۳۹/۹۲
	مقدار واقعی	۷۵۰/۰۳	۷۲۷/۰۷	۶۸۸/۹۹	۸۰۳/۱۷	۷۶۸/۸۲
	درصد تغییرات	-۲۸/۰۱	-۱۴/۹۸	-۷/۶۸	۰	-۳/۷۶
نیروی کار	مقدار بهینه	۸/۳۱	۱۰/۷۷	۱۰/۹۲	۱۴/۲۸	۱۳/۰۲
	مقدار واقعی	۱۵/۰۰	۱۶/۴۸	۱۳/۲۶	۱۴/۲۸	۱۴/۳۲
	درصد تغییرات	-۴۴/۶۲	-۳۴/۶۱	-۱۷/۶۲	۰	-۹/۱۰

ادامهٔ جدول ۳-

		r=5				
		<۰/۸	۰/۸-۰/۹	۰/۹-۱	۱	مجموع
جوجه	مقدار بهینه	۱۱۱/۰۰	۱۱۷/۲۷	۱۴۰/۰۱	۱۶۸/۶۲	۱۵۳/۹۴
	مقدار واقعی	۱۴۱/۸۳	۱۴۱/۳۶	۱۴۹/۷۲	۱۶۸/۶۲	۱۶۰/۱۲
	درصد تغییرات	-۲۱/۷۴	-۱۷/۰۵	-۶/۴۸	۰	-۳/۸۶
برق	مقدار بهینه	۶/۰۶	۵/۴۵	۹/۱۶	۱۰/۷۵	۹/۵۷
	مقدار واقعی	۷/۹۸	۷/۹۰	۱۰/۰۶	۱۰/۷۵	۱۰/۱۴
	درصد تغییرات	-۲۴/۱۰	-۳۰/۹۲	-۸/۹۰	۰	-۵/۶۸
سوخت	مقدار بهینه	۱۴/۷۰	۱۷/۱۰	۱۸/۶۲	۲۴/۵۰	۲۱/۹۷
	مقدار واقعی	۱۸/۹۴	۲۹/۱۶	۲۵/۶۰	۲۴/۵۰	۲۵/۲۲
	درصد تغییرات	-۲۲/۳۶	-۴۱/۳۷	-۲۷/۲۶	۰	-۱۲/۹۰
دارو	مقدار بهینه	۳۰/۷۱	۴۰/۱۲	۴۷/۰۶	۵۶/۱۱	۵۱/۳۰
	مقدار واقعی	۸۹/۹۱	۱۰۵/۴۸	۸۷/۰۱	۵۶/۱۱	۷۰/۳۷
	درصد تغییرات	-۶۵/۸۵	-۶۱/۹۷	-۴۵/۹۱	۰	-۲۷/۱۰
خوراک	مقدار بهینه	۵۳۹/۹۹	۵۶۴/۲۷	۶۶۹/۶۴	۸۰۵/۸۲	۷۳۶/۵۵
	مقدار واقعی	۷۵۰/۰۳	۶۶۳/۹۲	۷۳۰/۳۶	۸۰۵/۸۲	۷۶۸/۸۲
	درصد تغییرات	-۲۸/۰۰	-۱۵/۰۱	-۸/۳۱	۰	-۴/۲۰
نیروی کار	مقدار بهینه	۸/۲۷	۹/۸۱	۱۱/۱۲	۱۴/۲۱	۱۲/۷۹
	مقدار واقعی	۱۵/۰۰	۱۵/۱۸	۱۴/۰۰	۱۴/۲۱	۱۴/۳۲
	درصد تغییرات	-۴۴/۸۸	-۳۵/۳۷	-۲۰/۶۲	۰	-۱۰/۷۰

ادامهٔ جدول ۳-

		r=8				
		<۰/۸	۰/۸-۰/۹	۰/۹-۱	۱	مجموع
جوجه	مقدار بهینه	۱۱۰/۰۳	۱۱۶/۶۹	۱۵۷/۷۳	۱۵۵/۷۰	۱۴۹/۹۶
	مقدار واقعی	۱۴۱/۸۳	۱۴۱/۳۶	۱۷۳/۵۰	۱۵۵/۷۰	۱۶۰/۱۲
	درصد تغییرات	-۲۲/۴۲	-۱۷/۴۶	-۹/۰۹	۰	-۶/۳۵
برق	مقدار بهینه	۶/۱۹	۵/۴۵	۱۰/۲۳	۱۰/۳۱	۹/۵۱
	مقدار واقعی	۷/۹۸	۷/۹۰	۱۰/۹۰	۱۰/۳۱	۱۰/۱۴
	درصد تغییرات	-۲۲/۵۰	-۳۱/۰۱	-۶/۱۶	۰	-۶/۲۵
سوخت	مقدار بهینه	۱۴/۷۲	۱۶/۹۸	۲۲/۹۰	۲۰/۰۹	۲۰/۵۹
	مقدار واقعی	۱۸/۹۴	۲۹/۱۶	۳۰/۴۹	۲۰/۰۹	۲۵/۲۲
	درصد تغییرات	-۲۲/۲۶	-۴۱/۷۶	-۲۴/۹۱	۰	-۱۸/۳۷
دارو	مقدار بهینه	۲۹/۴۹	۳۹/۸۸	۴۹/۵۷	۵۷/۲۲	۵۱/۲۳
	مقدار واقعی	۸۹/۹۰۹	۱۰۵/۴۸۴	۷۲/۴۱۳	۵۷/۲۱۸	۷۰/۳۷
	درصد تغییرات	-۶۷/۲۰۳	-۶۲/۱۹۳	-۳۱/۵۴۲	۰	-۲۷/۲۰
خوراک	مقدار بهینه	۵۳۷/۷۸	۵۶۱/۷	۷۳۹/۸۷	۷۵۵/۶۳	۷۱۷/۵۷
	مقدار واقعی	۷۵۰/۰۳	۶۶۳/۹۲	۸۲۳/۶۴	۷۵۵/۶۳	۷۶۸/۸۲
	درصد تغییرات	-۲۸/۳۰	-۱۵/۳۹	-۱۰/۱۷	۰	-۶/۶۷
نیروی کار	مقدار بهینه	۸/۲۳	۹/۷۵	۱۳/۰۳	۱۲/۱۸	۱۲/۰۷
	مقدار واقعی	۱۵/۰۰	۱۵/۱۸	۱۶/۵۶	۱۲/۱۸	۱۴/۳۲
	درصد تغییرات	-۴۵/۱۶	-۳۵/۷۸	-۲۱/۳۱	۰	-۱۵/۷۳

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در پژوهش حاضر، با توجه به اهمیت صنعت مرغ گوشتی در ایران و جایگاه ویژه آن در استان مازندران، میزان کارآیی واحدهای مرغ گوشتی با ظرفیت بالاتر از سی هزار قطعه در شهرستان ساری مورد مطالعه قرار گرفت. از آنجا که در دنیای واقعی، همواره تولیدکنندگان با شرایط توأم با عدم قطعیت روبه‌رو هستند، مطالعهٔ حاضر کوشیده است که با استفاده از مدل

تحلیل پوششی داده‌های استوار (RDEA)، از حساسیت مدل DEA به تغییر در داده‌های ورودی و خروجی کاسته، نتایجی قابل اعتمادتر به‌دست دهد. طبق نتایج به‌دست‌آمده، میانگین کارآیی واحدها با افزایش سطح محافظه‌کاری مدل کاهش می‌یابد، به‌گونه‌ای که با افزایش سطح محافظه‌کاری از صفر (مدل DEA معمولی) تا هشت (آخرین حد محافظه‌کاری از نظام)، میزان کارآیی ۳/۳ درصد کاهش یافت. همچنین، هرچه سطح عدم قطعیت داده‌ها بیشتر باشد، از میانگین کارآیی کاسته می‌شود، که مؤید اهمیت استفاده از مدل RDEA است، زیرا این مدل با انعطاف‌پذیری بالا عدم قطعیت در داده‌ها را لحاظ کرده و حالت‌های مختلف محافظه‌کاری را بررسی می‌کند. از دیگر نتایج پژوهش حاضر این است که با افزایش درجه محافظه‌کاری مدل، میزان تفاوت بین مصرف واقعی و مطلوب نهاده افزایش می‌یابد. از این‌رو، در نظر گرفتن بحث عدم قطعیت می‌تواند به مدیریت صحیح مصرف منابع تولید برای دستیابی به سمت تولید کارآ کمک کند. همچنین، بیشترین درصد تفاوت مصرف مطلوب و واقعی نهاده‌ها، مربوط به نهاده هزینه دارو و واکسن (حدود سی درصد اختلاف) بوده، که حاکی از استفاده نامطلوب از این نهاده است؛ از این‌رو، با رعایت نکاتی چند و از آن جمله انتخاب جوجه‌های سالم، تغذیه مناسب، بهبود شرایط لانه و تراکم مناسب در آن، نگهداری جوجه‌های هم‌سن، معدوم کردن لاشه‌های طیور بیمار، استفاده از مواد ضدعفونی مناسب در مواقع لازم و نیز استفاده از نظر کارشناسان در تعیین زمان و مقدار مناسب واکسن و دارو می‌توان کمک شایانی به افزایش کارآیی واحدهای ناکارآ کرد. پس از نهاده هزینه دارو و واکسن، بیشترین درصد تفاوت بین مصرف مطلوب و واقعی مربوط به نهاده هزینه سوخت است که اگر امکان ارتباط با مرغداری‌های کارآ و استفاده از تجارب این‌گونه واحدها فراهم شود، می‌توان با اصلاح مصرف این نهاده، علاوه بر کاهش هزینه مرغداران، از اتلاف انرژی نیز جلوگیری کرد. در این راستا، شایسته است که دولت و مسؤلان مربوط با فراهم ساختن خدمات توسعه‌ای و ترویجی در زمینه استفادهٔ بهینه از نهاده‌ها و ارائه راهنمایی‌های ترویجی، کشاورزان را یاری کنند.

منابع

1. Abdi, E., Dashti, G., Ghahremanzadeh, M. and Hosseinzad, J. (2016). Analyzing the technical efficiency and technology gap of poultry units in Sanandaj county. *Journal of Animal Science Researches*, 26(3): 49-61. (Persian)
2. Atici, K.B. and Gülpinar, N. (2016). Robust DEA approaches to performance evaluation of olive oil production under uncertainty. In: Robustness analysis in decision aiding, optimization, and analytics (pp. 299-318). Springer.
3. Babaei, M., Paknejad, H., Mardani, M. and Salarpour, M. (2012). Evaluating crop efficiency of Jahrom city using Interval Data Envelopment Analysis (IDEA). *Journal of Operations Research Applications*, 35: 43-53. (Persian)
4. Ben-Tal, A., El Ghaoui, L. and Nemirovski, A. (2009). Robust optimization (Vol. 28). Princeton University Press.
5. Ben-Tal, A. and Nemirovski, A. (1998). Robust convex optimization. *Mathematics of Operations Research*, 23(4): 769-805.
6. Bertsimas, D. and Sim, M. (2004). The price of robustness. *Operations Research*, 52(1): 35-53.
7. Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6): 429-444.
8. Chebil, A., Abbas, K. and Frija, A. (2014). Water use efficiency in irrigated wheat production systems in central Tunisia: a stochastic data envelopment approach. *Journal of Agricultural Science (Toronto)*, 6(2): 63-71.
9. Esfahani, S. and Khazaei, J. (2011). Factors affecting the efficiency of broiler producers in South Khorasan province. *Journal of Agricultural Economics Research*, 2(4): 165-180. (Persian)
10. FAO (2014). FAO in the Islamic Republic of Iran. Food and Agriculture Organization FAO) of the United Nations Available at http://www.fao.org/publications/sofa/2014/en.
11. Houshyar, E., Azadi, H., Almassi, M., Davoodi, M.J.S. and Witlox, F. (2012). Sustainable and efficient energy consumption of corn production in Southwest Iran: combination of multi-fuzzy and DEA modeling. *Energy*, 44(1): 672-681.
12. Inuiguchi, M. and Sakawa, M. (1998). Robust optimization under softness in a fuzzy linear programming problem. *International Journal of Approximate Reasoning*, 18(1): 21-34.

13. Karimov, A. (2013). Productive efficiency of potato and melon growing farms in Uzbekistan: a two stage double bootstrap data envelopment analysis. *Agriculture*, 3(3): 503-515.
14. Mardani, M., Sargazi, A. and Sabouhi Sabouni, M. (2013). Determination of the efficiency of Sistan wheat farms using incorporation of optimization model with degree of conservatism control parameters and Robust Data Envelopment Analysis (RDEA). *Journal of Economics and Agricultural Development*, 27(3): 180-187. (Persian)
15. Mardani, M. and Ziyaee, S. (2016). Determining the efficiency of irrigated wheat Farmsin Neyshabur County under uncertainty. *Agricultural Economics and Development*, 30(2): 136-147. (Persian)
16. Minh, N.K. and Van Khanh, P. (2011). A chance-constrained data envelopment analysis approach to problem provincial productivity growth in Vietnamese agriculture from 1995 to 2007. *Open Journal of Statistics*, 1(03): 217.
17. MOAJ (2016). Livestock statistics of Mazandaran province. Mazandaran Organization of Agriculture-Jahad (MOAJ). Available at http://jkmaz.ir
18. Mulvey, J.M., Vanderbei, R.J. and Zenios, S.A. (1995). Robust optimization of large-scale systems. *Operations Research*, 43(2): 264-281.
19. OAJ (2016). Statistical yearbook of agriculture. Organization of Agriculture-Jahad (OAJ). Available at http://amar.maj.ir
20. Ommar, M.A.E. (2014). Technical and economic efficiency for broiler farms in Egypt: application of Data Envelopment Analysis (DEA). *Global Veterinaria*, 12(5): 588-593.
21. Omrani, H. (2013). Robust data envelopment analysis model with fuzzy perturbation in inputs and outputs. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 15(4): 426-442.
22. Pan, F. and Nagi, R. (2010). Robust supply chain design under uncertain demand in agile manufacturing. *Computers and Operations Research*, 37(4): 668-683.
23. Payandeh, Z., Kheiralipour, K. and Karimi, M. (2016). An evaluation of energy efficiency of broiler production farms using data envelopment analysis (DEA) technique, case study: Isfahan province. *Iranian Journal of Biosystems Engineering (Agricultural Sciences)*, 47(3): 577-585. (Persian)
24. Pishvaee, M.S. and Khalaf, M.F. (2016). Novel robust fuzzy mathematical programming methods. *Applied Mathematical Modelling*, 40(1): 407-418.
25. Sabouhi, M. and Mardani, M. (2017). Linear robust data envelopment analysis: CCR model with uncertain data. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 22(2): 262-280.

26. Sadrnia, H., Khojastehpour, M., Aghel, H. and Olya, A.S.R. (2017). Analysis of different inputs share and determination of energy Indices in broilers production in Mashhad County. *Journal of Agricultural Machinery*, 7(1): 285-297. (Persian)
27. SCI (2016). Statistics of the number and production of poultry units in Mazandaran province of Iran. Tehran: Statistical Center of Iran (SCI). Available at https://www.amar.org.ir
28. Sefeedpari, P., Rafiee, Sh., Akram, A. and Mousavi-Avval, S. (2012). Application of fuzzy data envelopment analysis for ranking dairy farms in the view of energy efficiency. *Journal of Animal Production Advances*, 2(6): 284-294.
29. Soyster, A.L. (1973). Convex programming with set-inclusive constraints and applications to inexact linear programming. *Operations Research*, *21*(5): 1154-1157.