اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۳۰، شمارهٔ ۱۲۰، زمستان ۱۴۰۱

DOI: 10.30490/AEAD.2023.359636.1456

مقاله پژوهشی

بررسی کارآیی گلخانه‌های هیدروپونیک عمودی تولید کاهوی فرانسوی به کمک روش تحلیل پوششی داده‌ها در استان البرز

فاطمه قبادیان[۱]، رضا مقدسی[۲]، مهدی کاظم‌نژاد[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱

چکیده

در مطالعهٔ حاضر، به ارزیابی کارآیی عملکرد ۲۳ واحد تولید کاهوی فرانسوی گلخانه‌ای به روش هیدروپونیک عمودی بر مبنای تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) در استان البرز پرداخته و مشخص شد که کشت کاهوی فرانسوی بدین روش می‌تواند پرسود باشد، به‌گونه‌ای که هزینه تولید هر بوته آن کمتر از پانزده هزار ریال و مقدار فروش هر بوته در حدود صد هزار ریال است. همچنین، ارزیابی چهار نهاده مهم شامل نیروی کار، سرمایه ثانویه (سرمایه مورد نیاز برای تبدیل گلخانه‌های معمولی به ساختار هیدروپونیک عمودی)، کود و سایر هزینه‌ها به‌عنوان ورودی‌ها و سود خالص به‌عنوان خروجی بر حسب میلیون ریال در هکتار صورت گرفت. با توجه به کارآیی فنی و کارآیی مقیاس، بازده نسبت به مقیاس در گلخانه‌های کارآمد «ثابت» و در

۱- دانشجوی دکتری گروه اقتصاد، ترویج و آموزش کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲- نویسندهٔ مسئول و دانشیار گروه اقتصاد، ترویج و آموزش کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (r.moghaddasi@srbiau.ac.ir)
۳- دانشیار اقتصاد کشاورزی، مؤسسهٔ پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعهٔ روستایی، تهران، ایران.

اکثر گلخانه‌های ناکارآمد «افزایشی» بود؛ و بر اساس نتایج تحلیل کارآیی، گلخانه‌های ناکارآمد واحدهایی کوچک با مساحت کمتر از هزار مترمربع بودند که باید مساحت خود را افزایش دهند. این واحدها به‌منظور دستیابی به کارآیی بالاتر، لازم است در مصرف نهاده‌های یادشده صرفه‌جویی کنند؛ و با مدیریت در استفاده از نهاده‌ها، با هزینه کمتر، به واحدهای کارآ تبدیل خواهند شد که به‌طور متوسط، با کاهش حدود ۲۵ درصدی ورودی‌ها، می‌توانند همان سطح خروجی را حفظ کنند.

کلیدواژه‌ها: *بازده نسبت به مقیاس، تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، کاهوی فرانسوی، هیدروپونیک عمودی.*

طبقه‌بندی JEL : Q12, D24, C51

مقدمه

به‌دلیل شهرنشینی، بلایای طبیعی، تغییرات آب‌وهوایی و. نیز استفاده بی‌رویه از مواد شیمیایی و سموم دفع آفات، کشاورزی مبتنی بر خاک با چالش‌های گوناگون روبه‌روست. از سوی دیگر، جمعیت به‌طور پایدار در حال رشد است و لازم است که روش‌های تهیهٔ غذای کافی بهبود یابد. اصلاح محیط رشد برای تولید پایدار و صرفه‌جویی در مصرف منابع موجود در خاک و آب یک گزینه جایگزین است (Butler and Oebker, 2006). از این‌رو، استفاده از روش‌های جدید کشاورزی مانند کشت‌های بدون خاک از قبیل هیدروپونیک، آکواپونیک، و آئروپونیک مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. کشت هیدروپونیک یک روش پیشرفته برای کشت سبزی‌ها به‌شمار می‌رود (Sharma et al., 2018). کشت هیدروپونیک، به‌دلیل داشتن منابع کارآمد و مدیریت و تولید مواد غذایی باکیفیت، در سراسر جهان محبوبیت یافته است (Gashgari et al., 2018). این ساختار مزیت‌ها و محدودیت‌هایی را به‌همراه دارد که از مزیت‌های آن، می‌توان به زمان کمتر رشد محصولات اشاره کرد؛ در طول رشد نیز محصولات حداقل بیماری را دارند و با دوری از بروز آفت و علف‌های هرز، نیاز به سمپاشی و آبیاری ندارند؛ همچنین، کشت هیدروپونیک به نیروی کار کمتری نیاز دارد. این شیوه برای منطقه‌ای که تغییرات شدید محیطی یک مشکل اساسی است، بسیار مفید است. محصولات در نظام کشت هیدروپونیک از اقلیم تأثیر نمی‌پذیرند و از این‌رو، می‌توانند در تمام طول سال، کشت شوند. در کشت هیدروپونیک، ریشهٔ گیاهان در آب غنی از مواد مغذی- با تأثیرپذیری از این مواد- به حالت تعلیق درآمده، می‌توانند بدون نیاز به هرگونه مواد شیمیایی رشد کنند (Sharma et al., 2018)، به‌گونه‌ای که بازده بیشتری نسبت به کشت سنتی ایجاد می‌شود. نظام کشت هیدروپونیک محدودیت‌هایی هم دارد. شروع آن مستلزم دانش فنی و هزینهٔ اولیهٔ بالاتر است و همچنین، به‌دلیل مواد مغذی مشترک، بیماری‌های منتقل‌شونده از آب به‌راحتی از یک گیاه به گیاه دیگر گسترش می‌یابند (Ikeda et al., 2002). آب‌وهوای بسیار گرم و اکسیژن‌رسانی محدود ممکن است تولید را محدود کند و چه‌بسا باعث از بین رفتن محصولات شود (Sharma et al., 2018). تبدیل گلخانه‌های معمولی به گلخانه‌های دارای نظام هیدروپونیک و استفاده از

نهاده‌ها با همان نگاه گلخانه‌های معمولی سودآوری کشت به روش هیدوپونیک را مبهم کرده است؛ از این‌رو، انتخاب برنامهٔ مناسب برای بهبود عملکرد نظام هیدروپونیک و دستیابی به نتایج اقتصادی بهتر و مؤثرتر ضروری است. محاسبه و بررسی کارآیی واحدهای تولیدی می‌تواند در تدوین برنامهٔ مفید و پیاده‌سازی روش بهینه، مؤثر باشد. بررسی عوامل مختلف بر محصول نهایی تاثیرگذار است و برای افزایش کارآیی، انتخاب نوع محصول می‌تواند از اهمیت ویژه برخوردار باشد. محاسبه کارآیی و بررسی آن و همچنین، به‌کارگیری درست و مطلوب عوامل تولید سبب خواهند شد که هدف نهایی مبنی بر دستیابی به حداکثر تولید با کیفیت مطلوب محقق شود. افزایش کارآیی در فرآیند تولید محصول به مفهوم راهی مطمئن برای افزایش رقابت‌پذیری و سوددهی بیشتر است (Vitzel, 2002). اندازه‌گیری و تحلیل کارآیی نشان می‌دهد که واحدها چگونه می‌توانند از منابع خود در راستای نیل به بهترین عملکرد و افزایش تولید در بازه زمانی مشخص استفاده کنند. بر اساس تعریف، کارآیی به سه دسته کارآیی فنی، تخصیصی و اقتصادی تقسیم می‌شود (Pierce, 1997). دبرئو[1] کارآیی فنی را به دو صورت تعریف کرد: کارآیی فنی نهاده‌گرا که عبارت است از توانایی واحد اقتصادی در تولید مقدار محصول معین با استفاده از کمترین نهاده‌ها و کارآیی محصول‌گرا که عبارت است از افزایش بالقوهٔ محصول، به‌شرط ثابت نگه داشتن نهاده‌ها. کارآیی تخصیصی عبارت است از توانایی واحد اقتصادی در استفاده از نهاده‌های تولید به نسبت بهینه، با توجه به قیمت‌های داده‌شده و فناوری تولید؛ به دیگر سخن، کارآیی تخصیصی عبارت است از به‌کارگیری ترکیبی از عوامل تولیدی با حداقل هزینه برای واحد تولیدی، به‌گونه‌ای که با توجه به مقدار محصول، حداکثر سود به‌دست آید (Kumbhaker and Lovell, 2000). کارآیی اقتصادی ترکیبی از دو کارآیی فنی و تخصیصی است. کارآیی اقتصادی توانایی واحد اقتصادی در دستیابی به حداکثر سود ممکن با توجه به قیمت و میزان نهاده‌های مورد استفاده در جریان تولید است (Jamnia, 2007). روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری کارآیی وجود دارند که می‌توان به روش‌های تحلیل مرزی تصادفی[2] بر پایه تعریف فارل (Farrell, 1957) و تحلیل پوششی داده‌ها[3] بر مبنای برنامه‌ریزی خطی اشاره کرد. در مطالعهٔ حاضر، از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) که روشی ناپارامتریک است، برای سنجش کارآیی نسبی مجموعه‌ای از واحدهای متجانس با ورودی و خروجی قطعی، استفاده می‌شود. این روش دارای دو مزیت عمده در اندازه‌گیری کارآیی است، نخست آنکه نیازی به تصریح یک شکل تابعی میان داده‌ها و ستاده‌ها ندارد و دیگر آنکه نیازی هم به مفروض توزیعات آماری برای اجزای کارآیی ندارد. در واقع، روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، علاوه بر محاسبه انواع کارآیی، برنامه‌ای پیشنهادی برای واحدهای ناکارآی اولیه ارائه می‌دهد که بر اساس آن، میزان مطلوب هر نهاده و میزان ایده‌آل قابل دسترس برای ستاده ارائه می‌شود و کارآیی به حداکثر می‌رسد (Mehrgan, 2004). در این روش، می‌توان تابع هدف (خروجی) را

1. Debreu
2. Stochastic Frontier Analysis (SFA)
3. Data Envelopment Analysis (DEA)

با توجه به ورودی‌هایی مشخص به حداکثر رساند؛ همچنین، می‌توان با استفاده از دوگان آن، برای خروجی‌های معین، ورودی‌ها را به حداقل رساند، یا ترکیبی از دو رویکرد را به‌کار برد (Alirezaei et al., 2007). مدل تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) ابزاری مفید در سنجش کارآیی چندین واحد تولیدی با ساختار مشابه است (Akbari et al., 2008). پاره‌ای از پژوهش‌های پیشین در زمینهٔ کشت هیدروپونیک و کارآیی عملکرد واحدهای تولیدی با بهره‌گیری از این نظام کشاورزی در پی تشریح می‌شود.

در تحقیق بنایان و همکاران (Banaeian et al., 2011)، با بهره‌گیری از روش تحلیل پوششی داده‌ها، به ارزیابی میزان کارآیی فنی و مقیاس تجاری ۲۵ واحد تولید توت‌فرنگی گلخانه‌ایی در استان البرز ایران پرداخته شد. این واحدها به‌صورت تصادفی انتخاب شده بودند. برای بهینه‌سازی عملکرد هر گلخانه، از چهار ورودی مهم نیروی انسانی (ساعت در هکتار)، کودها (کیلوگرم در هکتار)، سرمایه (دلار در هکتار) و سایر هزینه‌ها (دلار در هکتار) استفاده شد و بازده ناخالص توت‌فرنگی (دلار در هکتار) به‌عنوان خروجی منظور شد. میانگین بازده فنی به‌دست‌آمده (برابر با ۷۳ درصد) نشان می‌دهد که توان لازم برای استفاده کارآمدتر و پایدارتر از ورودی در تولید وجود دارد؛ به دیگر سخن، صرفه‌جویی ۲۷ درصدی نهاده‌های ورودی دست‌یافتنی است. در مطالعهٔ سیلوا و همکاران (Silva et al., 2017)، برای سنجش کارآیی بانک‌های محلی چین، مقایسه‌ای بین دو روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و تحلیل مرزی تصادفی (SFA) در سطوح خرد و کلان انجام شد و نتایج نشان داد که این مدل‌ها در مورد سطح کارآیی نتایج مشابه ارائه می‌دهند. از این مطالعه مشخص شد که در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲، به‌دلیل تغییرات مقررات در بانک مرکزی چین، بانک‌های محلی این کشور بهبودی در عملکرد خود نشان ندادند. در مطالعه‌ای دیگر، فلورانس و همکاران (Florence et al., 2018) به محاسبهٔ کارآیی اقتصادی تولید شیر در دامداری‌های کوچک‌مقیاس پرداختند. در این تحقیق، با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند، اطلاعات از ۹۱ دامداری کوچک‌مقیاس جمع‌آوری شد که قبلاً در سال ۲۰۱۳، در یک مطالعه تغذیه‌ای شرکت کرده بودند؛ نتایج نشان داد که افزایش بازده نسبت به مقیاس کشاورزان فعال ۱/۴۹۵ بوده است، به‌گونه‌ای که با استفادهٔ کارآمد از ورودی‌های موجود مانند علوفه و فناوری موجود، کارآیی اقتصادی این واحدها بسیار افزایش می‌یابد. در یک پژوهش دیگر، با مقایسهٔ گیاهان در حال رشد در نظام کشت هیدروپونیک و نظام کشت مبتنی بر خاک (سنتی)، بهترین نظام کشاورزی که با کمترین هزینه و مصرف منابع طبیعی، تقاضای کنونی و آینده را پوشش دهد، بررسی شد. گیاهان در نظام هیدروپونیک می‌توانند بیست تا ۲۵ درصد بازده بالاتر نسبت به نظام مبتنی بر خاک داشته باشند (Gashgari et al., 2018).

با توجه به پژوهش‌های گوناگون، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از روش‌های نوین کشاورزی امکان افزایش تولید مواد غذایی را فراهم می‌سازد. برای تشویق صاحبان گلخانه‌های معمولی، به‌منظور تبدیل واحدهای تولیدی‌شان به مجموعه‌هایی بر پایه کشت بدون خاک، لازم است که بررسی اقتصادی واحدهای موجود انجام و نسبت به بهبود عملکرد آنها تلاش شود. از این‌رو، پژوهش حاضر به ارزیابی کارآیی عملکرد

واحدهای تولید کاهوی فرانسوی گلخانه‌ای به روش هیدروپونیک عمودی بر مبنای تحلیل پوششی داده‌ها در استان البرز پرداخته است. با توجه به محدودیت نمونه‌ها در جامعه آماری، سعی شده است که اطلاعات کلیه موارد شناخته‌شده مورد استفاده قرار گیرد، از این‌رو، ۲۳ واحد تولیدی از مهر سال ۱۴۰۰ تا خرداد ۱۴۰۱، مورد توجه و ارزیابی قرار گرفتند. کشاورزی عمودی[۱]، به‌دلیل به‌کارگیری بخش‌های زراعی جداگانه، امکان تولید گونه‌های بیشتری از محصولات قابل برداشت را نیز فراهم می‌کند. در مطالعهٔ حاضر، چهار ورودی اصلی شامل سرمایهٔ ثانویه به‌منظور تبدیل گلخانهٔ معمولی به واحد دارای نظام کشت هیدروپونیک عمودی برای هر بار کشت، نیروی کار، کود و سم و هرینه‌های دیگر (آب و انرژی و ...) به‌عنوان ورودی‌ها و سود خالص به‌عنوان خروجی بر حسب میلیون ریال در هکتار مورد بررسی قرار می‌گیرند و بهترین مقادیر برای دستیابی به کارآیی فنی بالا و مقدار پس‌انداز حاصل از کشت کاهوی فرانسوی در هر دوره یک‌ماهه در هر هکتار را پیشنهاد می‌دهد.

مواد و روش‌ها

روش تحلیل پوششی داده‌ها

روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) یک روش غیرپارامتریک برای ارزیابی عملکرد است و می‌تواند تمام ورودی‌ها را پوشش دهد، که بدان تحلیل فراگیر داده‌ها گفته می‌شود (Banker et al., 1984). در این روش، از تعدادی نقاط که با روش برنامه‌ریزی خطی مشخص می‌شوند، منحنی مرز کارآ تشکیل شده است. برای تعیین نقاط، می‌توان از دو فرض بازده ثابت و متغیر نسبت به مقیاس استفاده کرد:

فرض می‌شود که n واحد تصمیم‌گیرنده متجانس هستند که با $DMUj\ (j=1,2,\ldots,n)$ نشان داده می‌شوند و هر کدام از آنها با m ورودی به‌صورت بردار $X_j \in R^{m\geq 0}$، s خروجی به‌صورت بردار $Y_j \in R^{s\geq 0}$ را تولید می‌کنند، به‌گونه‌ای که هیچ‌کدام از بردارهای ورودی و خروجی صفر نیستند؛ همچنین، فرض می‌شود که $DMUp\ (p \in \{1,2,3,\ldots,n\})$ واحد در دست ارزیابی هستند و مجموعه امکان تولید Tc به‌صورت زیر است:

$$T_c = \left\{ \binom{x}{y} \mid x \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_j \& y \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_j \& \lambda_j \geq 0, \quad j = 1,2,\ldots,n \right\} \qquad (۱)$$

۱- منظور از کشت عمودی یا کشاورزی عمودی کشت گیاهان در طبقه‌های عمودی روی هم است، به‌گونه‌ای که بذر گیاهان با فواصل مشخص کنار هم در چندین طبقه درون گلدان نشاء کاشته می‌شود و این طبقات از پایین به بالا روی هم قرار گرفته و کل سازه را به‌صورت طبقات عمودی تشکیل می‌دهند.

در ساخت مدل تحلیل پوششی داده‌ها، یک رابطهٔ تجربی در ارتباط با تعداد واحدهای ارزیابی و تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها به‌صورت زیر وجود دارد:

(تعداد خروجی‌ها+ تعداد ورودی‌ها)×۳ ≥ تعداد واحدهای مورد ارزیابی (۲)

اگر رابطهٔ بالا در عمل مورد استفاده قرار نگیرد، تعداد زیادی از واحدها روی مرز کارآ قرار می‌گیرند؛ در نتیجه، قدرت تفکیک مدل کاهش می‌یابد (Charnes et al., 1978).

مدل DEA با فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس (CRS)

مدل DEA با فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس[1] یک الگوی برنامه‌ریزی خطی است که از آن برای محاسبهٔ کارآیی فنی واحدهای تصمیم‌گیرنده استفاده می‌شود. استفاده از این الگوی تحلیل پوششی داده‌ها زمانی مناسب است که واحدهای تصمیم‌گیرنده در مقیاس بهینه عمل کنند. بازده ثابت نسبت به مقیاس (CRS) بدین معنی است که هر مضربی از ورودی‌ها همان مضرب از خروجی‌ها را تولید می‌کند (Malana and Malano, 2006; Chauhan et al., 2006; Nassiri and Singh, 2009). از آنجا که باید برای هر واحد یک محدودیت نوشته شود، مدل برنامه‌ریزی خطی به‌دست خواهد آمد که تعداد محدودیت‌های این مدل از تعداد متغیرهای آن بیشتر است؛ و از آنجا که حجم عملیات در حل مسئله بیشتر وابسته به تعداد محدودیت‌هاست تا متغیرها، حل مسئله نیازمند حجم عملیات کمتری است. در صورتی که متغیر متناظر با محدودیت $\sum_{i=1}^{m} v_i x_{i0} = 1$ را در مسئله با θ و متغیرهای متناظر با $\sum_{r=1}^{s} y_{rj} u_r - \sum_{i=1}^{m} x_{ij} v_i \leq 0$ با λ_j بیان شود، مدل به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\text{Min } y_0 = \theta \qquad (۳)\ (۱)$$

ST:

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \geq y_{r0}, r = 1,2, \dots, s$$

$$\theta x_{i0} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \geq 0, i = 1,2 \dots, m$$

$$\lambda_j \geq 0,\ i = 1,2 \dots, n$$

هدف این مدل کاهش سطح ورودی نسبت به θ است. از نظر روش DEA، یک واحد در صورتی کارآست که دیگر واحدها یا ترکیب خطی آن نتوانند به ازای مصرف کمتر لااقل یکی از ورودی‌ها، خروجی‌های معادل واحد یادشده را تولید کنند؛ چنین واحدی در ارزیابی مقدار یک اختیار می‌کند. این روش به‌منظور سنجش کارآیی یک واحد، از ترکیب واحدهای کارآ، واحدی مجازی می‌سازد

1. Constant Returns to Scale (CRS)

که روی مرز کاراً قرار گرفته و سپس، واحد مورد نظر با این واحد مجازی مقایسه می‌شود. در واقع، قلب DEA ساختن واحد مجازی است که به‌خوبی در مدل یادشده نمود دارد (Cooper et al., 1999). به‌منظور محاسبه کارآیی برای m ورودی و s خروجی برای هر واحد اقتصادی به‌صورت DMUj $(j \in \{1, 2, 3, \dots, n\})$، می‌توان از رابطهٔ زیر استفاده کرد (Nassiri and Singh, 2009):

$$\text{بازده} = \frac{\text{مجموع وزنی خروجی‌ها}}{\text{مجموع وزنی ورودی‌ها}} \qquad (۴)$$

$$\text{Efficiency} = (\sum_{r=1}^{s} u_r y_r^j)/(\sum_{i=1}^{m} v_i x_i^j)$$

که در آن، u_r وزن متناظر خروجی y_r، $(r \in \{1, 2, 3, \dots, s\})$ و v_i وزن متناظر ورودی x_i، $(i \in \{1, 2, 3, \dots, m\})$ از واحد $(j \in \{1, 2, 3, \dots, n\})$ DMUj مورد مطالعه هستند.

مدل DEA با فرض بازده متغیر نسبت به مقیاس (VRS)

بنکر و همکاران (Banker et al., 1984)، با تغییر در مدل CRS و رابطه (۳)، مدلی جدید را عرضه کردند؛ این مدل به ارزیابی کارآیی نسبی واحدها با بازده متغیر نسبت به مقیاس[1] می‌پردازد و انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به مدل CRS دارد، بدین معنی که هر مضربی از ورودی‌ها همان مضرب از خروجی‌ها، کمتر یا بیشتر از آن را تولید می‌کند که به‌ترتیب، بازده نسبت به مقیاس ثابت، کاهشی و افزایشی نامیده می‌شوند. مدل‌های بازدهی با مقیاس ثابت (CRS) از مدل‌های بازدهی با مقیاس متغیر (VRS) محدودکننده‌ترند، زیرا واحدهای کارآی کمتری را دربرمی‌گیرند و در نتیجه، مقدار کارآیی نیز کمتر می‌شود.

بازده نسبت به مقیاس از نسبت مقادیر CRS و VRS به‌صورت زیر قابل محاسبه است (Banaeian et al., 2011):

$$\text{بازده به مقیاس} = \frac{\text{مقدار } CRS}{\text{مقدار } VRS} \qquad (۵)$$

ورودی‌ها و خروجی‌های مدل DEA

در مطالعهٔ حاضر، ۲۳ واحد تصمیم‌گیری کشت هیدروپونیک عمودی کاهوی فرانسوی، با توجه به چهار ورودی و یک خروجی و به‌منظور تأمین شرط رابطه (۲)، بررسی شدند، به‌گونه‌ای که سود خالص (بر حسب میلیون ریال در هکتار) به‌عنوان متغیر خروجی و سرمایه ثانویه، هزینه نیروی کار شامل کارگران فصلی و ثابت، کود و سم و سایر هرینه‌ها (آب و برق و گاز و ...) به‌عنوان متغیرهای ورودی (بر حسب میلیون ریال در هکتار) در محاسبات منظور شده‌اند. نوع مدل‌های به‌کار رفته در تحقیق حاضر

1. Variable Returns to Scale (VRS)

پایه‌ای و بر اساس مدل CRS و VRS و با رویکرد ورودی‌محور است که برای تخمین مدل‌های برنامه‌ریزی و محاسبه انواع کارآیی، از نرم‌افزارهای Excel 2016 و DEA Solver استفاده شده است.

نتایج و بحث

در جدول ۱، داده‌های اقتصادی به‌همراه سطح زیر کشت واحدهای تولیدی و در جدول ۲، تحلیل اقتصادی کشت کاهوی فرانسوی بر اساس داده‌های ۲۳ گلخانه هیدروپونیک و همچنین، در جدول ۳، اطلاعات آماری شامل میانگین، انحراف معیار و مقادیر بیشینه و کمینهٔ نهاده‌های مورد بررسی ارائه شده است. همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، در تحلیل پوششی داه‌ها (DEA)، نیازی به تصریح یک شکل تابعی میان داده‌ها و ستاده‌ها ندارد. اما در محاسبهٔ هزینهٔ نهایی محصول (جدول ۲)، مقادیر هزینه‌های چهار ورودی شامل سرمایهٔ ثانویه، هزینهٔ نیروی کار (کارگران فصلی و ثابت)، کود و سم و سایر هرینه‌ها (آب و برق و گاز و ...) که از جدول ۳ قابل استخراج است، منظور شده‌اند.

جدول ۱- داده‌های اقتصادی مزارع مورد مطالعه برای کشت کاهوی فرانسوی

واحدهای گلخانه	سطح زیر کشت (متر مربع)	سرمایه ثانویه*	نیروی کار*	کود*	سایر هزینه ها*	درآمد ناخالص*	سود خالص*
HPFV1	۱۲۰۰	۲۹۹۰	۴۷۰	۵۶	۹۰۰	۴۴۰۰۰	۳۹۵۸۴
HPFV2	۱۲۰۰	۳۰۲۰	۵۰۰	۷۵	۱۱۰۰	۴۴۰۰۰	۳۹۳۰۵
HPFV3	۱۰۰۰	۳۰۰۰	۵۱۰	۸۲	۱۱۳۰	۴۰۰۰۰	۳۵۲۷۸
HPFV4	۱۰۰۰	۳۰۰۰	۵۷۰	۶۰	۹۸۰	۳۹۶۰۰	۳۴۹۹۰
HPFV5	۱۲۰۰	۳۱۰۰	۷۲۰	۹۰	۱۱۷۰	۴۲۰۰۰	۳۶۹۲۰
HPFV6	۱۲۰۰	۲۹۰۰	۴۵۰	۵۳	۹۴۰	۴۳۰۰۰	۳۸۶۵۷
HPFV7	۱۰۰۰	۳۰۵۰	۵۳۰	۵۶	۹۵۰	۴۱۶۰۰	۳۷۰۱۴
HPFV8	۷۵۰	۳۳۰۰	۷۵۰	۷۰	۱۲۰۰	۳۹۰۰۰	۳۳۶۸۰
HPFV9	۷۵۰	۳۱۰۰	۷۵۰	۶۵	۱۱۳۰	۴۰۰۰۰	۳۴۹۵۵
HPFV10	۹۰۰	۳۰۰۰	۶۰۰	۶۰	۱۰۰۰	۳۶۰۰۰	۳۱۳۴۰
HPFV11	۵۰۰	۲۸۰۰	۵۵۰	۷۲	۱۰۴۰	۲۸۰۰۰	۲۳۵۳۸
HPFV12	۷۵۰	۲۹۵۰	۶۵۰	۸۵	۱۱۰۰	۳۲۰۰۰	۲۷۲۱۵
HPFV13	۷۵۰	۲۸۵۰	۷۰۰	۷۵	۹۵۰	۳۰۰۰۰	۲۵۴۲۵
HPFV14	۷۵۰	۳۵۰۰	۹۰۰	۸۰	۱۴۰۰	۲۹۰۰۰	۲۳۱۲۰
HPFV15	۵۰۰	۳۰۰۰	۴۵۰	۷۰	۱۰۰۰	۱۹۰۰۰	۱۴۴۸۰
HPFV16	۱۰۰۰	۲۹۵۰	۴۰۰	۸۵	۹۳۰	۳۵۰۰۰	۳۰۶۳۵
HPFV17	۹۰۰	۲۷۰۰	۴۳۰	۸۲	۹۵۰	۲۵۰۰۰	۲۰۸۳۸
HPFV18	۱۰۰۰	۲۴۰۰	۷۵۰	۹۰	۱۰۳۰	۲۷۰۰۰	۲۲۷۳۰
HPFV19	۷۵۰	۲۵۵۰	۷۰۰	۱۰۰	۸۵۰	۲۰۰۰۰	۱۵۸۰۰
HPFV20	۷۵۰	۲۸۵۰	۷۰۰	۷۵	۹۰۰	۲۲۰۰۰	۱۷۴۷۵
HPFV21	۸۰۰	۳۰۷۰	۶۵۰	۷۰	۱۴۰۰	۳۳۰۰۰	۲۷۸۱۰
HPFV22	۹۰۰	۳۰۵۰	۷۰۰	۶۵	۱۱۰۰	۳۴۰۰۰	۲۹۰۸۵
HPFV23	۱۰۰۰	۳۰۰۰	۵۰۰	۶۰	۱۰۰۰	۳۷۰۰۰	۳۲۴۴۰

* همه متغیرها بر حسب میلیون ریال در هکتار است. مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۲- تحلیل اقتصادی کشت کاهوی فرانسوی بر اساس داده‌های ۲۳ گلخانهٔ هیدروپونیک

متغیر	واحد	مقدار
محصول	تعداد بوته کاهو در هکتار	۳۳۹۲۱۷
قیمت فروش	ریال برای هر بوته کاهو	۱۰۰۰۰۰
ارزش ناخالص محصول	میلیون ریال در هکتار	۳۳۹۲۱/۷
هزینه نهایی محصول	میلیون ریال در هکتار	۴۶۹۰/۷
هزینه نهایی محصول	ریال برای هر بوته کاهو	۱۴۶۰۰
سود خالص	میلیون ریال در هکتار	۲۹۲۳۱

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۳- اطلاعات آماری داده‌های ۲۳ گلخانهٔ هیدروپونیک

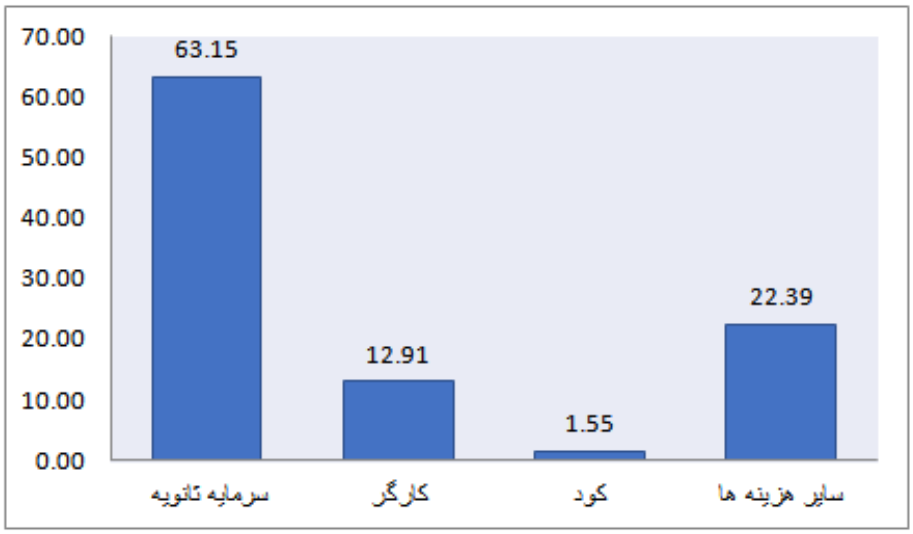
متغیر*	میانگین	انحراف معیار استاندارد	بیشینه مقدار	کمینه مقدار
سرمایه ثانویه*	۲۹۶۲/۲	۲۱۷/۷	۳۵۰۰	۲۴۰۰
نیروی کار *	۶۰۵/۶	۱۲۹/۱	۹۰۰	۰۰
کود *	۷۲/۸	۱۲/۲	۱۰۰	۵۳
سایر هزینه‌ها*	۱۰۵۰	۱۴۰/۸	۱۴۰۰	۸۵۰
سود خالص*	۲۹۲۳۱	۷۵۰۴/۹	۳۹۵۸۴	۱۴۴۸۰

* همه متغیرها بر حسب میلیون ریال در هکتار است.

مأخذ: یافته‌های پژوهش

با توجه به اطلاعات جدول ۲، کشت کاهوی فرانسوی دارای بازده بالاست و برای این فعالیت کشاورزی، می‌تواند پرسود باشد، به‌گونه‌ای که هزینه تولید هر بوته آن کمتر از پانزده هزار ریال است. نکته مهم آن است که در محاسبات یادشده، سرمایه‌گذاری اولیه (خرید زمین و ساخت سازه اصلی گلخانه) منظور نشده و فرض شده است که گلخانه و سازه‌های مرتبط وجود دارند، به‌گونه‌ای که سرمایهٔ ثانویه برای تبدیل گلخانهٔ معمولی به هیدروپونیک عمودی و تغییر در نوع کشت برای ایجاد ارزش افزوده مورد مطالعه قرار گرفته است. البته هدف از طرح توسعه‌ای تعریف‌شده استفاده از سرمایه‌گذاری‌های قبلی است که برای راه‌اندازی گلخانه‌های معمولی هزینه شده‌اند تا با تغییر نظام تولید، درآمد تولیدکنندگان افزایش یابد. البته در مطالعه‌ای دیگر، سرمایهٔ اولیه (خرید زمین و ساخت سازه اصلی گلخانه) مورد توجه قرار گرفته است که به‌زودی، در قالب مقاله‌ای دیگر، گزارش خواهد شد. با توجه به جدول ۳، ملاحظه می‌شود که به‌طور میانگین، به ازای هر هکتار در ماه، سود خالص

۲۹۲۳۱ میلیون ریال در هکتار حاصل خواهد شد. در شکل ۱، سهم هر کدام از چهار ورودی هزینه‌ای در کل هزینه واحدها نشان داده شده است و بر اساس آن، می‌توان نتیجه گرفت که سرمایه‌گذاری ثانویه برای آماده‌سازی فضای کشت هیدروپونیک کاهوی فرانسوی در حدود ۶۳ درصد از کل هزینه‌ها را دربرمی‌گیرد و لازم است که قبل از شروع کشت، تأمین یکبارهٔ آن انجام شود در ابتدای فعالیت، مورد توجه قرار گیرد.



مأخذ: یافته‌های پژوهش

نمودار ۱- سهم هر کدام از ورودی‌های هزینه‌ای در کل هزینه (درصد)

مقدار کارآیی واحدها، با توجه به مدل‌های تعریف‌شده برای تبدیل گلخانهٔ معمولی به هیدروپونیک عمودی، در جدول ۴ آمده و البته، علاوه بر مقدار کارآیی، نوع آن هم در این جدول قابل مشاهده است. مقادیر متوسط کارآیی CRS و VRS، به‌ترتیب، ۰/۷۴۴ و ۰/۹۴۷ به‌دست آمده است؛ این مقادیر نشان می‌دهد که باید واحدها، برای بهبود کارآیی، به‌طور متوسط، به‌ترتیب، حدود ۲۵/۶ و ۵/۳ درصد از ورودی‌ها کم کنند تا سطح خروجی و تولید قبلی آنها حفظ شود.

جدول ۴- مقادیر کارآیی ۲۳ گلخانهٔ هیدروپونیک به روش عمودی

واحدهای گلخانه	کارآیی بازده ثابت نسبت به مقیاس	کارآیی بازده متغیر نسبت به مقیاس	کارآیی مقیاس	بازده به مقیاس
HPFV1	۱	۱	۱	ثابت
HPFV2	۰/۹۷۶۴	۰/۹۸۱۱	۰/۹۹۵۲	افزایشی
HPFV3	۰/۸۸۲۲	۰/۹۴۲۴	۰/۹۳۶۱	افزایشی
HPFV4	۰/۸۷۵	۰/۹۵۴۴	۰/۹۱۶۸	افزایشی
HPFV5	۰/۸۹۳۴	۰/۹۱۷۹	۰/۹۷۳۳	افزایشی
HPFV6	۱	۱	۱	ثابت
HPFV7	۰/۹۱۹۴	۰/۹۷۰۵	۰/۹۴۷۳	افزایشی
HPFV8	۰/۷۶۵۶	۰/۸۵۱۷	۰/۸۹۸۹	افزایشی
HPFV9	۰/۸۴۵۹	/۹۰۹	۰/۹۳۰۵	افزایشی
HPFV10	۰/۷۸۳۷	۰/۹۴۹۱	۰/۸۲۵۷	افزایشی
HPFV11	۰/۶۳۰۶	/۹۶۹	۰/۶۵۰۷	افزایشی
HPFV12	۰/۶۹۲۱	۰/۸۹۲۶	۰/۷۷۵۳	افزایشی
HPFV13	/۶۶۹۲	/۹۶۲۲	۰/۶۹۵۴	افزایشی
HPFV14	۰/۴۹۵۶	۰/۷۸۹۴	۰/۶۲۷۸	افزایشی
HPFV15	۰/۳۷۴۶	۰/۹۶۰۲	۰/۳۹۰۱	افزایشی
HPFV16	۰/۸۹۱۵	۱	۰/۸۹۱۵	افزایشی
HPFV17	/۵۷۹	۱	/۵۷۹	افزایشی
HPFV18	۰/۷۱۰۵	۱	۰/۷۱۰۵	افزایشی
HPFV19	۰/۴۶۴۸	۱	۰/۴۶۴۸	افزایشی
HPFV20	۰/۴۶۱۱	۰/۹۸۲۳	۰/۴۶۹۴	افزایشی
HPFV21	۰/۶۷۶۹	۰/۹۰۰۵	۰/۷۵۴۶	افزایشی
HPFV22	۰/۷۱۵۴	۰/۹۲۰۵	۰/۷۷۷۱	افزایشی
HPFV23	۰/۸۱۱۲	۰/۹۵۰۴	۰/۸۵۳۵	افزایشی
میانگین	۰/۷۴۴۲	۰/۹۴۷۹	۰/۷۸۵۴	
بیشینه مقدار	۱	۱	۱	
کمینه مقدار	۰/۳۷۴۶	۰/۷۸۹۴	۰/۳۹۰۱	
انحراف معیار استاندارد	۱۸۰۷,۰	۰/۰۵۳۴	۰/۱۸۳۸	

مأخذ: یافته‌های پژوهش

همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، با توجه مقدار کارآیی با فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس، واحد اقتصادی یک (HPFV1) و شش (HPFV6) کارآ هستند و ۲۱ واحد دیگر کارآیی ندارند و بر اساس مقدار کارآیی با فرض بازده متغیر نسبت به مقیاس نیز واحدهای یک (HPFV1)، شش (HPFV6)، شانزده (HPFV16)، هفده (HPFV17)، هجده (HPFV18) و نوزده (HPFV19) کارآ و سایر واحدها با کارآیی کمتر از یک ناکارآ هستند. اگر کارآیی واحدی برابر با یک بوده و

کمبودی در خروجی و مازادی در ورودی نداشته باشد، کارآی پارتو[1] و در غیر این صورت، کارآی ضعیف است. در جدول ۴، کارآیی مقیاس هم قابل مشاهده است که از تقسیم کارآیی بازده ثابت نسبت به مقیاس بر کارآیی با فرض بازده متغیر نسبت به مقیاس به‌دست آمده است. بدین ترتیب، بر اساس کارآیی مقیاس، گلخانه‌های یک (HPFV1) و شش (HPFV6) کاراً به‌شمار می‌روند و با توجه به مدل «ورودی‌محور»، بقیه گلخانه‌ها با مازاد ورودی مواجه‌اند که در ستون آخر، نشان داده شده است؛ در واقع، این واحدها، برای رسیدن به کارآیی، می‌توانند از ورودی‌های کمتری استفاده کنند. از آنجا که در هر برنامه‌ریزی خطی DEA، روشِ حل در پی بیشینه‌سازی کارآیی واحد هدف است، هنگامی که کارآیی واحد هدف یا دست‌کم یکی دیگر از واحدها معادل یک شود، حل الگو متوقف خواهد شد. پس برای هر واحد ناکارآ، حداقل یک واحد دیگر وجود دارد که با همان وزن‌های واحد هدفِ به‌دست‌آمده از حل مدل، دارای کارآیی یک است؛ بدین واحدهای کاراً گروه مرجع[2] واحد ناکارآ گفته می‌شود. جدول ۵ گروه‌های مرجع واحدها (گلخانه‌ها) را بر اساس بازده ثابت نسبت به مقیاس نشان می‌دهد.

جدول ۵- گروه‌های مرجع ۲۳ گلخانهٔ هیدروپونیک بر اساس بازده ثابت نسبت به مقیاس

واحدهای گلخانه	HPFV1	HPFV2	HPFV3	HPFV4	HPFV5	HPFV6	HPFV7	HPFV8	HPFV9	HPFV10	HPFV11	HPFV12	HPFV13	HPFV14	HPFV15	HPFV16	HPFV17	HPFV18	HPFV19	HPFV20	HPFV21	HPFV22	HPFV23	تعداد واحد مرجع
HPFV1	√						√													√				۳
HPFV6	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	۱۸

مأخذ: یافته‌های پژوهش

با توجه به جدول ۵، مرجع هر گلخانه به‌صورت زیر است:

- مرجع گلخانه یک، واحد ۱ است؛
- مرجع گلخانه‌های دو تا بیست‌وسه، به‌جز گلخانه‌های هفت و بیست، واحد ۶ (گلخانه ۶) است؛ و
- مرجع گلخانه‌های هفت و بیست، واحدهای ۱ و ۶ است.

از آنجا که گلخانه‌های یک و شش کاراای پاراتو هستند، مرجع خود نیز به‌شمار می‌روند.

1. Pareto-efficient
2. benchmark

از جدول ۵، می‌توان نتیجه گرفت که واحدهای ناکارآ می‌توانند از تجربه واحدهای مرجع برای رسیدن به کارآیی استفاده کنند؛ برای نمونه، واحد ۲۰ برای رسیدن به کارآیی می‌تواند از گلخانه‌های یک و شش الگو بگیرد. همچنین، در ستون آخر جدول ۵ نیز نشان داده شده که هر واحد چند بار به‌عنوان واحد مرجع انتخاب شده است، به‌گونه‌ای که واحد ۱، سه بار و واحد ۶، بیست‌ودو بار مرجع شده‌اند و سایر واحدها، به‌دلیل ناکارآیی، مرجع نشده‌اند. در جدول ۶، گروه‌های مرجع واحدها بر اساس بازده متغیر نسبت به مقیاس ارائه شده‌اند که در این مقیاس، گلخانهٔ یک برای چهار واحد، گلخانهٔ شش برای هجده واحد، گلخانهٔ شانزده برای دو واحد، گلخانهٔ هفده برای شش واحد، گلخانهٔ هجده برای چهارده واحد و گلخانهٔ نوزده برای شش واحد دیگر به‌عنوان واحد مرجع انتخاب شده‌اند.

جدول ۶- گروه‌های مرجع ۲۳ گلخانهٔ هیدروپونیک بر اساس بازده متغیر نسبت به مقیاس

واحدهای گلخانه	HPFV1	HPFV2	HPFV3	HPFV4	HPFV5	HPFV6	HPFV7	HPFV8	HPFV9	HPFV10	HPFV11	HPFV12	HPFV13	HPFV14	HPFV15	HPFV16	HPFV17	HPFV18	HPFV19	HPFV20	HPFV21	HPFV22	HPFV23	تعداد واحد مرجع
HPFV1	√	√					√													√				۴
HPFV6		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√					√	√	√	√	۱۷
HPFV16															√	√								۲
HPFV17			√								√	√			√		√						√	۶
HPFV18			√	√	√			√	√	√	√	√	√	√				√			√	√	√	۱۴
HPFV19				√						√		√	√						√	√				۶

مأخذ: یافته‌های پژوهش

اگر مقدار ورودی‌ها یا خروجی‌ها، به نحوی تغییر داده شوند که واحد مورد بررسی روی مرز کارآیی قرار گیرد (به عبارتی کارآیی آن برابر ۱ شود) به واحد فرضی که روی مرز کارآیی است واحد مجازی گفته می‌شود. λ [1]ترکیبی از واحدهای مرجع را نشان می‌دهد که برای ساخت واحد مجازیِ هر واحد به کار می‌رود. مقادیر λ (وزن واحدهای مرجع) با فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس در جدول۷ و با فرض بازده متغیر نسبت به مقیاس در جدول ۸، ارائه شده‌اند.

جدول ۷- مقادیر λ ، وزن واحدهای مرجع ۲۳ گلخانهٔ هیدروپونیک بر اساس بازده ثابت نسبت به مقیاس

واحدهای گلخانه	HPFV1	HPFV2	HPFV3	HPFV4	HPFV5	HPFV6	HPFV7	HPFV8	HPFV9	HPFV10	HPFV11	HPFV12	HPFV13	HPFV14	HPFV15	HPFV16	HPFV17	HPFV18	HPFV19	HPFV20	HPFV21	HPFV22	HPFV23
HPFV1	۱						۰/۴۴۶۲													۰/۱۵۸۶			
HPFV9	۱/۰۱۶۸	۰/۹۱۲۶	۰/۹۰۵۱	۰/۹۵۵۱	۱	۰/۵۲۱۱	۰/۸۷۱۳	۰/۹۰۴۳	۰/۸۱۰۷		۰/۶۰۸۹	۰/۷۰۴۰	۰/۶۵۷۷	۰/۵۷۸۱	۰/۳۷۵	۰/۷۹۲۵	۰/۵۳۹۰	۰/۵۸۸۰	۰/۴۰۸۷	۰/۲۸۹۶	۰/۷۱۹۴	۰/۷۵۲۴	۰/۸۳۹۲

مأخذ: یافته‌های پژوهش

1. intensity vector

جدول ۸- مقادیر λ، وزن واحدهای مرجع ۲۳ گلخانهٔ هیدروپونیک بر اساس بازده متغیر نسبت به مقیاس

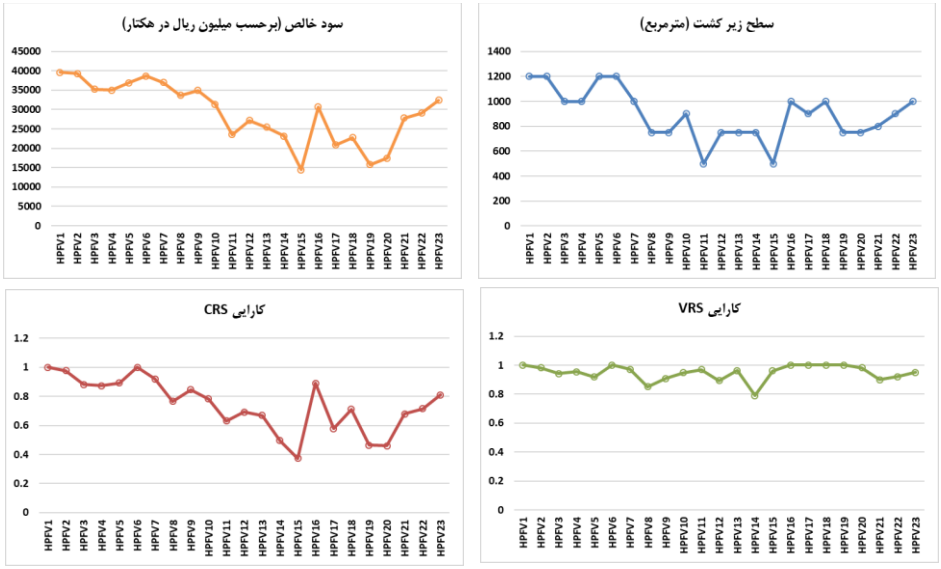
واحدهای گلخانه	HPFV1	HPFV2	HPFV3	HPFV4	HPFV5	HPFV6	HPFV7	HPFV8	HPFV9	HPFV10	HPFV11	HPFV12	HPFV13	HPFV14	HPFV15	HPFV16	HPFV17	HPFV18	HPFV19	HPFV20	HPFV21	HPFV22	HPFV23
HPFV1	۱	۰/۶۹۹					۰/۴۴۹۹													۰/۴۷۶۷			
HPFV6		۰/۳۰۱	۰/۷۹۸۹	۰/۹۰۴۶	۰/۸۹۰۹	۱	۰/۵۵۰۱	۰/۸۲۱۱	۰/۸۳۵۶	۰/۸۹۴	۰/۵۰۱۹	۰/۳۳۶۵	۰/۵۷۸	۰/۷۲۵۷	۰/۵۳۹۹					۰/۱۱۳۹	۰/۷۲۸۹	۰/۸۱۵۳	۰/۸۸۴۹
HPFV16															۰/۲۹۰۴	۱							
HPFV17			۰/۰۹۲۸								۰/۲۰۷۸	۰/۲۱۴۶			۰/۱۶۴۷		۱						۰/۰۲۹۱
HPFV18			۰/۱۰۸۳	۰/۰۲۱۹	۰/۱۰۹۱				۰/۱۶۴۴	۰/۱۰۳۶	۰/۲۹۰۴	۰/۴۴۵۱	۰/۰۶۷	۰/۲۷۴۳				۱					۰/۰۸۵۹
HPFV19				۰/۰۷۲۵						۰/۰۰۳۴		۰/۰۰۳۸	۰/۳۵۵						۱	۰/۴۰۹۴			

مأخذ: یافته‌های پژوهش

از جداول ۷ و ۸، می‌توان برای کارآ کردن هر واحد با تغییر در مقادیر ورودی استفاده کرد؛ برای نمونه، با توجه به جدول ۷، می‌توان گفت که برای رسیدن به مرز کارآیی، باید گلخانهٔ بیست از ترکیب گروه مرجع خود (گلخانه‌های یک و شش) استفاده کند، به‌گونه‌ای که:

سرمایه ثانویه گلخانه بیست در شرایط کارآ برابر است با: سرمایه ثانویه گلخانهٔ یک × ۰/۱۵۸۶ + سرمایه ثانویه گلخانهٔ شش × ۰/۲۸۹۶، که این نوع محاسبات را می‌توان برای تمام ورودی‌ها و خروجی‌ها انجام داد و با استفاده از مقادیر ضرایب، واحدها را به مرز کارآیی نزدیک کرد. در نتیجه، می‌توان مقادیر بهینه هر ورودی را با توجه به واحد مرجع و ضرایب متناظر به‌دست آورد و بدین ترتیب، واحد تجاری را کارآ کرد. در نمودار ۲، سطح زیر کشت (بر حسب متر مربع)، سود خالص (بر حسب

میلیون ریال در هکتار) و کارآیی بازده ثابت و متغیر نسبت به مقیاس واحدهای تولیدی نشان داده شده است.



نمودار ۲- سطح زیر کشت (بر حسب متر مربع)، سود خالص (بر حسب میلیون ریال در هکتار) و کارآیی بازده ثابت و متغیر نسبت به مقیاس واحدهای تولیدی

از مقایسه منحنی‌های نمودار ۲ و بررسی واحدهای کشاورزی و اطلاعات سطح زیر کشت آنها که از داده‌های جمع‌آوری‌شده و میدانی استخراج شده‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که ارتباط معنی‌دار بین سطح زیر کشت و کارآیی وجود دارد، به‌گونه‌ای که گلخانه‌هایی با مساحت کمتر از هزار متر مربع، با توجه به هزینه‌های ثابت اقلامی مانند پردازشگرهای حسگرهای دما، رطوبت و فشار و نیروی کار متخصص که مستقل از ابعاد گلخانه هستند، به‌طور عمده، ناکارآ بوده‌اند که لازم است مورد توجه قرار گیرند، البته این بدان معنی نیست که سطح زیر کشت در محاسبه کارآیی مورد توجه قرار گرفته است، ولی نتایج نهایی وابستگی مساحت با کارآیی را نشان می‌دهند، به‌گونه‌ای که هزینه‌های ثابت مستقل از ابعاد گلخانه، با کاهش مساحت، هزینه نهایی محصول را افزایش می‌دهند که در نتیجه، واحدهای کوچک‌تر را در مقایسه با واحدهای بزرگ‌تر، ناکارا می‌نمایند. ذکر این نکته ضروری است که در

مطالعهٔ حاضر، تبدیل گلخانهٔ معمولی به هیدروپونیک مد نظر بوده است، از این‌رو، سرمایه‌گذاری اولیه برای خرید زمین و ساخت گلخانه از قبل انجام شده بود و سازه‌ها وجود داشته‌اند، همچنین، از منحنی‌های شکل ۲، می‌توان نتیجه گرفت که رابطه‌ای مستقیم بین سود خالص واحد تولیدی و کارآیی آن وجود دارد، به‌گونه‌ای که واحدهای کارآ سود بیشتری را نصیب تولیدکننده می‌کنند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مطالعه حاضر به بررسی کارآیی عملکرد ۲۳ واحد تولید کاهوی فرانسوی گلخانه‌ای به روش هیدروپونیک عمودی بر مبنای تحلیل پوششی داده‌ها در استان البرز پرداخته است. نتایج مطالعهٔ حاضر نشان داد که تولید کاهوی فرانسوی گلخانه‌ای یک عملیات کشاورزی با سود بالاست و به‌طور میانگین، به ازای هر هکتار در ماه، سود خالص ۲۹۲۳۱ میلیون ریال در هکتار، با در نظر گرفتن سرمایه ثابت برای تغییر ساختار و آماده‌سازی گلخانه هیدروپونیک عمودی با استفاده از امکانات گلخانه‌های معمولی موجود و هزینه‌های متغیر، حاصل خواهد شد. مطالعهٔ حاضر، با استفاده از روش DEA مدل ورودی‌محور برای بررسی کارآیی فنی و کارآیی مقیاس ۲۳ گلخانه تجاری تولید کاهوی فرانسوی، یک عملکرد دقیق را ایجاد کرده و در بررسی کارآیی نیز چهار ورودی و یک خروجی بررسی شده است، به‌گونه‌ای که سود خالص به‌عنوان متغیر خروجی و سرمایه ثانویه، هزینه نیروی کار (شامل کارگران فصلی و ثابت)، کود و سم و سایر هزینه‌ها (آب و برق و گاز و ...) به‌عنوان متغیرهای ورودی بر حسب میلیون ریال در هکتار در محاسبات منظور شده‌اند.

مطابق نتایج تحقیق حاضر، مدیریت گلخانه‌های یک و شش بهترین عملکرد و کارآیی بالاتری داشته‌اند. گلخانه‌های کارآ شیوه‌هایی را برای گلخانه‌های ناکارآ توصیه کردند تا این گلخانه‌ها بتوانند با تغییرات در استفاده از منابع، به سودآوری بیشتر و در نهایت، به کارآیی بالاتر دست پیدا کنند. کاهش مصرف نهاده‌ها به‌طور متوسط باعث افزایش کارآیی فنی و افزایش بازده ناخالص و افزایش سود می‌شود. با این روش، مشخص شد که واحدهای ناکارآ، به‌طور متوسط ،با کاهش حدود ۲۵/۶ درصد از ورودی‌ها، می‌توانند همان سطح خروجی را حفظ کنند، که میانگین هزینه تولید را کاهش می‌دهد و باعث بهبود رقابت‌پذیری گلخانه‌ها می‌شود. کارآیی مقیاس نشان داد که در بازده نسبت به مقیاس، واحدهای یک و شش با برخورداری از کارآیی فنی دارای عملکرد «ثابت» و سایر واحدهای ناکارآ دارای عملکرد «افزایشی» بودند. این واحدهای ناکارآ می‌توانند با بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها به سطح بالای کارآیی دست یابند. از این‌رو، واحدهای مرجع و وزن واحدهای مرجع برای هر کدام از

واحدهای مورد مطالعه ارائه شده‌اند تا امکان بهبود عملکرد واحدهای تجاری ناکارآ به‌وجود آید. در نتیجه، می‌توان مقادیر بهینه هر ورودی را با توجه به واحد مرجع و ضرایب متناظر به‌دست آورد و بدین ترتیب، واحد تجاری را کارآ کرد. ذکر این نکته ضروری است که مفاهیم کارآ و ناکارآ بودن در مقایسه واحدها با یکدیگر تعریف می‌شود. کلیه واحدها، در پایان هر دوره کشت، سود زیادی به‌دست آورده‌اند که در صورت بهینه‌سازی آنها، امکان افزایش سود وجود دارد.

منابع

1. Akbari, N., Zahedi Keivan, M. and Monfaredian Sarvestani, M. (2008). Investigation efficiency of performance of the livestock industry in Iran. *Journal of Economics*, 8(3): 141-160. (Persian)
2. Alirezaei, M., Afsharan, M. and Analoei, B. (2007). Calculating the growth of total factor productivity using DEA non-parametric model: a case study of the electricity industry. *Journal of Economic Research*, 78: 177-206. (Persian)
3. Banaeian, N., Omid, M. and Ahmadi, H. (2011). Improvement of cost efficiency in strawberry greenhouses by data envelopment analysis. *Agricultura Tropica Et Subtropica*, 44: 144-151.
4. Banker, R.D., Charnes, A. and Cooper, W.W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30: 1078-1092.
5. Butler, J.D. and Oebker, N.F. (2006). Hydroponics as hobby: growing plants without soil. Circular 844, Information Office, College of Agriculture, University of Illinois, Urbana, IL 6180p.
6. 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.
7. Chauhan, N.S., Mohapatra, P.K.J. and Pandey, K.P. (2006). Improving energy productivity in paddy production through benchmarking - an application of data envelopment analysis. *Energy Conversion and Management*, 47(9): 1063-1085.

8. Cooper, W.W., Lawrence, M.S. and Tone, K. (1999). Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software. USA: Kluwer Academic Publishers.
9. Farrell, M.J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journa of the Royal Statistical Society*, Series A. 120: 253-281.
10. Florence, M., John, M., George, G., John, V. and Yigzaw, N. (2018). Economic efficiency of milk production among small-scale dairy farmers in Mukurweini, Nyeri County, Kenya. *Journal of Development and Agricultural Economics*, 10: 152-158.
11. Gashgari, R., Alharbi, K., Mughrbil, K., Jan, A. and Glolam, A. (2018). Comparison between growing plants in hydroponic system and soil based system. Proceedings of the 4th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM'18) Madrid, Spain, August 16-18.
12. Ikeda, H., Koohakan, P. and Jaenaksorn, T. (2002). Problems and counter measures in the re-use of the nutrient solution in soilless production. *Acta Horticulture*, 578: 213-219.
13. Jamnia, A. (2007). Determination of economic efficiency of fishing units in Chabahar region. MSc. Thesis, College of Agriculture, Zabol University. (Persian)
14. Kumbhaker, S. and Lovell, C.A.K. (2000). Stochastic frontier analysis. United Kingdom: Cambridge University Press.
15. Malana, N.M. and Malano, H.M. (2006). Benchmarking productive efficiency of selected wheat areas in Pakistan and India - data envelopment analysis. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 55(4): 383-394.
16. Mehrgan, M. (2004). Evaluation of organizations performance: quantitative approach using data envelopment analysis. First Edition. Tehran: Tehran University Publications Institute. (Persian)
17. Nassiri, M.S. and Singh, S. (2009). Study on energy use efficiency for paddy crop using data envelopment analysis (DEA) technique. *Appied Energy*, 86: 1320-1325.

18. Pierce, E. (1997). Efficiency progress in the New South Wales government. Presented at the International Conference on Public Sector Efficiency, University of New South Wales, 27 and 28 November 1997. Available at https://www.budget.nsw.gov.au/sites/default/files/pdf/TRP97-08_Efficiency_Progress_in_the_New_South_Wales_Government.pdf.
19. Sharma, N., Acharya, S., Kumar, K., Singh, N. and Chaurasia, O.P. (2018). Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: an overview. *Journal of Soil and Water Conservation*, 17: 364-371.
20. Silva, T.C., Tabak, B.M., Cajueiro, D.O. and Dias, M.V.B. (2017). A comparison of DEA and SFA using micro- and macro-level perspectives: efficiency of Chinese local banks. *Physica A.*, 469: 216-223.
21. Vitzel, M. (2002). A short history of efficiency. *Business Strategy Review*, 13: 38- 47.