فصلنامه اقتصاد و تجارت نوین، شماره ۱۲، بهار ۱۳۸۷، صفحات ۱۲۹– ۱۵۰

سنجش کارایی منابع فناوری اطلاعات در توسعه زیرساخت‌های تجارت الکترونیکی: رویکرد تحلیل پوششی داده‌های متقاطع برای کشورهای در حال توسعه منتخب

دکتر مهدی بشیری*
استادیار دانشکدهٔ فنی و مهندسی دانشگاه شاهد، تهران
محمدرضا توکلی بغدادآباد**
دانشجوی دکترای مدیریت کسب‌وکار دانشگاه کنگسان مالزی، مالزی
دکتر امیرحسین امیری***
استادیار دانشکدهٔ فنی و مهندسی دانشگاه شاهد، تهران
تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۷/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۹/۲۲

چکیده

این مقاله با استفاده از روش ناپارامتری تحلیل پوششی داده‌ها به ارزیابی کارایی کشورهای در حال توسعه منتخب در زمینهٔ استفاده از منابع فناوری اطلاعات برای توسعه زیرساخت‌های تجارت الکترونیکی در سال ۲۰۰۵ می‌پردازد. با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، شاخص‌های جدید و مستقل از هم به‌عنوان متغیرهای خروجی ایجاد و سپس به رتبه‌بندی کشورها از نظر کارایی اقدام می‌شود.

نتایج نشان می‌دهد با فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس، کشورهای مصر، نیجریه، پاکستان، قزاقستان، ویتنام، الجزایر، اندونزی و آذربایجان از بیشترین کارایی برخوردار هستند و متوسط کارایی ۴۳/۸ درصد است. با در نظر داشتن فرض بازدهی متغیر نسبت به مقیاس، کشورهای استونی، هند، چین، روسیه، اکراین و ایران نیز به جمع کشورهای کارا می‌پیوندند و متوسط کارایی ۶۳/۹ درصد است.

واژه‌های کلیدی: کارایی؛ تحلیل پوششی داده‌ها؛ تحلیل پوششی داده‌های متقاطع؛ روش ناپارامتری؛ تحلیل مؤلفه‌های اصلی

طبقه‌بندی JEL: C61; L81 ; N70

---

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: bashiri@shahed.ac.ir
** پست الکترونیکی: mr_tavakkoli@yahoo.com
*** پست الکترونیکی: amiri@shahed.ac.ir

۱. مقدمه

پیشرفت فناوری اطلاعات و ارتباطات در دو دهۀ اخیر و گسترش کاربردهای آن در عرصه‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی موجب شکل‌گیری فصل نوینی از روابط متقابل بین افراد، نهادها، شرکت‌ها و دولت‌ها شده است. مفاهیم جدیدی در ادبیات اقتصادی و تجارت در حال ظهور هستند. روش‌های سنتی تجارت و کسب‌وکار در حال بازنگری بوده و در پرتو این تحول، مشاغل و فعالیت‌های جدید اقتصادی در حال شکل‌گیری هستند.[۱]

در این میان، اینترنت به‌عنوان یک شبکۀ جهانی و نیز به‌عنوان پیش‌نیاز تجارت الکترونیکی به‌دلیل داشتن حضور فراگیر، هزینۀ دسترس نسبتاً پایین، سهولت کار با آن، انعطاف‌پذیری و جذابیت، در حال تغییر روش‌های سنتی کسب‌وکار است. این فناوری عملاً الگوهای جدیدی برای خرید، فروش و ارائه خدمات به مشتریان ارائه داده و در حال ارائه تعریفی جدید از روابط سنتی بین خریداران و فروشندگان است. این فناوری، زمینۀ دگرگونی در روش‌های تولید، توزیع، جست‌وجو و مبادلۀ کالاها و خدمات را فراهم آورده و می‌تواند سرعت واکنش مؤسسات و بنگاه‌ها را به تغییرات بازار و ارائه خدمات بهتر به مصرف‌کنندگان بیشتر نماید. در تجارت الکترونیکی عملاً اطلاعات به‌جای آنکه از طریق تماس مستقیم اشخاص منتقل شود، از طریق یک شبکه دیجیتالی یا سایر کانال‌های الکترونیکی مبادله می‌شود.

اصولاً تعاریفی که از تجارت الکترونیکی وجود دارد، با توجه به فعالیت‌ها و معاملاتی که در آنها لحاظ شده و همچنین زیرساخت‌های ارتباطی که این فعالیت‌ها و معاملات در آن انجام می‌شود، متفاوت هستند. همین امر موجب شده است تا نتایج مختلفی از تحقیقات انجام شده در سطح بین‌المللی، در مورد ابعاد تأثیر تجارت الکترونیکی به‌دست آید. برخی تمام معاملات تجاری و مالی که به‌صورت الکترونیکی انجام می‌شوند نظیر تبادل الکترونیکی داده‌ها، انتقال وجوه به‌صورت الکترونیکی و تمام فعالیت‌های مربوط به کارت‌های اعتباری ـ بدهی را تجارت الکترونیکی می‌نامند. برخی دیگر، تجارت الکترونیکی را محدود به خرده‌فروشی به مصرف‌کنندگان تعریف می‌کنند که در آن، معامله و پرداخت بهای کالا و خدمات از طریق اینترنت صورت می‌گیرد. براساس یکی از این تعاریف، تجارت الکترونیکی عبارت است از خرید و فروش کالاها، خدمات و اطلاعات از طریق شبکه‌های رایانه‌ای از جمله اینترنت.[۲] کشورهای عضو سازمان توسعه و همکاری اقتصادی[۳] نیز تلاش‌های وسیعی را برای ارائه یک تعریف استاندارد و اندازه‌گیری تجارت الکترونیکی انجام داده‌اند. براساس معیارهای این کشورها که به‌عنوان یک

---

[1] Mokyr (1996)

[2] Turban, King, Warketin and Chung (2002)

[3] Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD)

استاندارد بین‌المللی در بسیاری از کشورهای جهان به‌کار می‌رود، هنگام تعریف تجارت الکترونیکی می‌بایست از سه بعد شبکه‌ای (تعریف وسیع و محدود)، فرآیندها و فعالان به آن نگریسته شود[1] و نیازهای تحقیقاتی و شاخص‌های لازم به‌صورت سه مرحله آمادگی فنی، شدت کاربری و تأثیر تقسیم‌بندی شود.

با این توصیف، در سال‌های اخیر کشورهای در حال توسعه همگام با کشورهای توسعه یافته با کنار گذاشتن تدریجی تجارت سنتی مبتنی بر کاغذ و مبادلهٔ فیزیکی اسناد، به شیوهٔ تجارت الکترونیکی روی آورده‌اند. روش تجارت الکترونیکی معروف به تجارت بدون کاغذ، صرفه‌جویی در زمان، هزینه‌ها و نیروی انسانی را به‌دنبال داشته و شاخص‌های بهره‌وری را افزایش داده است. در عین حال صرفاً سرمایه‌گذاری و توسعه زیرساخت‌های فنی، اتصالی و زیرساخت‌های فناوری نمی‌تواند تضمینی در پیشرفت تجارت الکترونیکی محسوب شود، بلکه علاوه بر فاکتورهای سرمایه‌گذاری و بسترسازی تجارت الکترونیکی در ابعاد مختلف، استفاده مؤثرتر و مطلوب‌تر از منابع و امکانات مورد استفاده می‌تواند ضامن رشد و توسعه فعالیت‌های تجارت الکترونیکی محسوب شود. در واقع آنچه حایز اهمیت است، بررسی کشورها از منظر استفادهٔ بهینه منابع در جهت توسعه تجارت الکترونیکی و دستیابی به موقعیتی برتر در مقایسه با سایر کشورهاست. بنابراین، هدف این مقاله ارزیابی کارایی منابع تخصیصی کشورهای در حال توسعه به منظور توسعهٔ تجارت الکترونیکی است.

این مطالعه به‌دنبال پاسخ به این سؤالات اساسی است که آیا کشورهای در حال توسعه از منابع فناوری اطلاعات برای ایجاد و توسعه زیرساخت‌های تجارت الکترونیکی به شکل کارا عمل می‌کنند؟ علاوه بر این می‌توان به هر کشور به تنهایی نگاه کرد و این پرسش را مطرح نمود که آیا می‌توان هر کشور را با توجه به نهاده‌هایی که در اختیار آن قرار می‌گیرد و مقدار ستانده‌ای که از آن حاصل می‌شود، به‌عنوان یک کشور کارا قلمداد نمود؟ و اگر پاسخ منفی است، اجرای طرح در کدام کشور می‌تواند الگو برای افزایش کارایی سایر کشورها قرار گیرد؟ همچنین کارایی نسبی ایران در مقایسه با سایر کشورهای در حال توسعه در زمینهٔ استفاده از منابع فناوری اطلاعات برای توسعه زیرساخت‌های تجارت الکترونیکی چگونه است؟

در این مقاله از روش تحلیل پوششی داده‌ها برای اندازه‌گیری کارایی و در نتیجه پاسخ به این سؤالات اساسی استفاده شده است. از آنجایی که خروجی‌های مورد نظر برای اندازه‌گیری کارایی کشورها به یکدیگر وابسته هستند (این موضوع در بخش ششم نشان داده شده است)، ابتدا از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی که یکی از تکنیک‌های تحلیل چند متغیره آماری است،

---

[1] Web Site: http://www.unctad.org

متغیرهای خروجی را مستقل نموده و سپس از آنها به‌عنوان ورودی روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده می‌کنیم. استفاده از این روش در کنار تحلیل پوششی داده‌ها منجر به ارزیابی کارایی به‌صورت دقیق‌تر و بدون انحراف حاصل از وابستگی شاخص‌ها می‌شود. در ادامه نیز از روش تحلیل پوششی داده‌های متقاطع برای تعیین کاراترین کشورها استفاده می‌شود.

ساختار مقاله بدین صورت است. بخش دوم به کارایی، مفاهیم و روش‌های محاسبهٔ آن می‌پردازد. در بخش سوم و چهارم، مبانی نظری تحلیل پوششی داده‌ها و DEA متقاطع ارائه شده و در بخش پنجم مروری بر تحلیل مؤلفه‌های اصلی انجام شده است. بخش ششم به معرفی ورودی‌ها و خروجی‌های مدل می‌پردازد. در بخش‌های هفتم و هشتم نتایج تحقیق و رتبه‌بندی کشورها ارائه شده است. در نهایت در بخش آخر نیز نتایج و توصیه‌های سیاستی تبیین می‌شود.

۲. کارایی: تعریف و روش محاسبه

فرهنگ (۱۳۷۸) کارایی را نسبت مقدار تولید شده به مقدار عاملی که به‌کار رفته، تعریف نموده است. فارل[1] (۱۹۵۷) نیز کارایی یک بنگاه را "تولید یک ستانده به حد کافی بیشتر از یک مقدار مفروض نهاده تعریف نموده است". همچنین فارل با استفاده از این تعریف به بیان انواع کارایی به‌صورت کارایی فنی، کارایی تخصیصی و کارایی اقتصادی پرداخته است که کارایی اقتصادی از حاصل ضرب کارایی فنی در کارایی تخصیصی به‌دست می‌آید. باید توجه داشت که میزان کارایی اقتصادی در واقع همان میزان کارایی فنی است (از نظر روش محاسبه)، با این تفاوت که وزن‌های ورودی‌ها، قیمت خرید یا هزینهٔ تهیهٔ آنها بوده و وزن‌های خروجی‌ها قیمت فروش آنهاست.

به‌منظور ارزیابی کارایی روش‌های متفاوتی از سوی پژوهشگران مختلف ارائه شده است که عمدتاً می‌توان آنها را به دو دسته پارامتری و ناپارامتری تقسیم‌بندی نمود. در روش‌های پارامتری ابتدا یک شکل خاص برای تابع تولید در نظر گرفته می‌شود. سپس با یکی از روش‌های برآورد توابع که در آمار و اقتصادسنجی مرسوم است، ضرایب مجهول (پارامترهای) این تابع برآورد می‌شود که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به تابع تولید مرزی تصادفی و تابع سود[2] اشاره کرد. روش‌های پارامتری برای ارزیابی کارایی واحدهای تولیدی که یک ستاده دارند و یا در صورت داشتن ستاده بیشتر بتوان این ستاده‌ها را به یکدیگرــ یا به یک واحد ستاده یکسان ــ تبدیل کرد، مناسب هستند. ضرورت تصریح یک شکل خاص برای تابع تولید مرزی، وجود ستادهٔ واحد جهت برآورد تابع تولید مرزی و نقص مفروضات متغیر جزء تصادفی در عمل

---

[1] Farrell
[2] Schmidt and Sickles (1984)

از جمله مشکلات روش‌های پارامتری هستند. در روش‌های ناپارامتری با استفاده از تکنیک‌های برنامه‌ریزی ریاضی به ارزیابی کارایی بنگاه‌ها پرداخته می‌شود. لذا، دیگر نیازی به برآورد تابع تولید نیست و نیز چنانچه بنگاه مورد نظر دارای چند خروجی متفاوت باشد، این روش در ارزیابی کارایی با مشکلی مواجه نخواهد بود. روش تحلیل پوششی داده‌ها را می‌توان به‌عنوان یکی از روش‌های ناپارامتری معرفی نمود. در این روش برای ارزیابی کارایی هر واحد، ابتدا یک واحد مجازی ایجاد می‌کنند که به‌صورت ترکیبی خطی از سایر واحدهای تصمیم‌گیری است. سپس ستادهٔ حاصل از این واحد تصمیم‌گیری مجازی را که با بکار بردن نهادهٔ یکی از واحدهای تصمیم‌گیری به‌دست می‌آید، با ستادهٔ واقعی این واحد مقایسه می‌کنند و به این ترتیب به ارزیابی کارایی می‌پردازند.[۱]

۳. مبانی نظری تحلیل پوششی داده‌ها

در حالت اولیه، روش تحلیل پوششی داده‌ها به ارائه مدل زیر جهت اندازه‌گیری کارایی نسبی می‌پردازد.[۲]

$$
\begin{aligned}
&Max \quad \sum_{r=1}^{s} u_{ro} Y_{ro} \; / \sum_{i=1}^{n} v_{io} X_{io} \\
&S.T \quad \sum_{r=1}^{s} u_{rj} Y_{rj} / \sum_{i=1}^{n} v_{ij} X_{ij} \le 1 \qquad i = 1,2,...,n \qquad r = 1,2,...,s \qquad (1)\\
&\qquad u_{ro}, v_{io}, u_{rj}, v_{ij} \ge 0 \qquad j = 1,2,...,m
\end{aligned}
$$

v_{ij} و u_{rj} به‌ترتیب وزن‌های ورودی‌ها و خروجی‌های کشورها، X_{ij} و Y_{rj} به‌ترتیب ورودی‌ها و خروجی‌های کشورها، r, i, j به‌ترتیب شمارندهٔ تعداد کشور، ورودی‌ها و خروجی‌ها و m ، n و s به ترتیب تعداد کشورها، تعداد ورودی‌ها و تعداد خروجی‌ها هستند.

به‌عبارت دیگر، در روش تحلیل پوششی داده‌ها نسبت موزون خروجی‌ها و ورودی‌ها را ماکزیمم می‌نماییم به این شرط که همین ضرایب در سایر بنگاه‌ها کارایی آنها را از واحد بیشتر نکند.

از آنجا که این مدل یک مدل غیرخطی است، برای سهولت در حل آن با فرض $\sum_{i=1}^{n} v_{io} X_{io} = 1$ آن را به یک مدل خطی تبدیل می‌نماییم. که در نهایت با اعمال یکسری عملیات ریاضی و با توجه به دوآل مدل بالا داریم:

---

[1] Johnes and Johnes (1993)

[۲] امامی میبدی (۱۳۷۹)

$$
\begin{aligned}
&Min\theta \\
&S.T \quad -\sum_{r=1}^{s} u_r Y_{ro} + \sum_{r=1}^{s} \lambda_j Y_{ij} \geq 0 \qquad j = 1,2,...,n \\
&\theta \sum_{i=1}^{m} v_i X_{io} - \sum_{i=1}^{m} \lambda_j X_{ij} \geq 0 \\
&\lambda \succ 0
\end{aligned}
\qquad (۲)
$$

λ یک بردار $N \times 1$ شامل اعداد ثابت است که وزن‌های مجموعه مرجع برای θ را نشان می‌دهد. مقادیر اسکالر به‌دست آمده که کارایی بنگاه‌ها خواهد بود، شرط $\theta \leq 1$ را تأمین می‌نماید. مدل بالا را در روش DEA مدل CCR[1] می‌نامند.[2]

۳-۱. بازده به مقیاس در تحلیل پوششی داده‌ها

مفهوم بازده به مقیاس زمانی مطرح می‌شود که بخواهیم بدانیم اگر ورودی‌ها را به یک نسبت مشخص تغییر دهیم، خروجی‌ها چه تغییری خواهند نمود. این بحث را با فروضی می‌توان در مدل DEA گنجاند که به‌واسطهٔ آن دو نتیجه مهم عاید می‌شود. اول اینکه، کارایی فنی به دو جزء کارایی مدیریتی و کارایی مقیاس تفکیک می‌گردد و دوم اینکه، بنگاه‌های بزرگ از بنگاه‌های کوچک تمیز داده می‌شود.

۳-۱-۱. بازده به مقیاس ثابت

فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس تنها در صورتی قابل اعمال است که بنگاه‌ها در مقیاس بهینه عمل نمایند.[3] مدل CCR با فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس، کارایی را به‌گونه‌ای ارائه می‌نمود که دربرگیرندهٔ کارایی فنی خالص یعنی کارایی ناشی از مدیریت و کارایی ناشی از صرفه‌جویی مقیاس یک بنگاه بود. ولی از آنجا که برای ارزیابی تأثیرات تغییر و اصلاح ساختاری، اطلاعاتی در مورد کارایی مقیاس لازم است و همچنین برای تشویق مدیران نمونه، داشتن اطلاعاتی در مورد کارایی ناشی از مدیریت ضرورت می‌یابد، لازم است اهمیت تفکیک این دو کارایی از هم روشن گردد.

۳-۱-۲. بازده به مقیاس متغیر

بانکر و همکاران[4] (۱۹۸۴)، مدل CCR را به‌گونه‌ای بسط دادند که بازده متغیر نسبت به مقیاس را دربرگیرد. انجام این مهم در فرموله کردن مسئله دوگان در برنامه‌ریزی ریاضی با فرض بازده

---

[1] Charnes, Cooper and Rhodes

[2] Banker, Charnes and Cooper (1984)

[3] امامی میبدی (۱۳۷۹)

[4] Banker et al.

ثابت نسبت به مقیاس با اضافه نمودن محدودیت $NI'\lambda = 1$ (قید تحدّب) به این مدل است، در این حالت محاسبات با فرض بازده متغیر نسبت به مقیاس انجام می‌شود. به‌طوری‌که:

$$
\begin{aligned}
&Min\theta \\
&S.T \; -\sum_{r=1}^{s} u_r Y_{ro} + \sum_{r=1}^{s} \lambda_j Y_{ij} \geq 0 \\
&\theta \sum_{i=1}^{m} v_i X_{io} - \sum_{i=1}^{m} \lambda_j X_{ij} \geq 0 \\
&\lambda \succ 0 \qquad\qquad NI'\lambda = 1
\end{aligned}
\tag{۳}
$$

این مدل با قید بازده متغیر نسبت به مقیاس مشخص نمی‌کند که بنگاه در کدام ناحیهٔ بازده صعودی یا نزولی نسبت به مقیاس فعالیت می‌نماید. این مهم در عمل با مقایسهٔ قید بازده غیرصعودی نسبت به مقیاس $NI'\lambda \leq 1$ صورت می‌گیرد. به‌طوری‌که:

$$
\begin{aligned}
&Min\theta \\
&S.T \quad -\sum_{r=1}^{s} u_r Y_{ro} + \sum_{r=1}^{s} \lambda_j Y_{ij} \geq 0 \\
&\theta \sum_{i=1}^{m} v_i X_{io} - \sum_{i=1}^{m} \lambda_j X_{ij} \geq 0 \\
&\lambda \succ 0 \\
&NI'\lambda \leq 1
\end{aligned}
\tag{۴}
$$

به‌عبارت دیگر، ماهیت نوع بازده در ناکارایی مقیاس برای یک بنگاه خاص با مقایسه مقدار کارایی فنی در حالت بازده غیرصعودی نسبت به مقیاس و با مقدار کارایی فنی بازده متغیر نسبت به مقیاس تعیین می‌شود. بدین صورت که اگر این دو با هم مساوی باشند، آنگاه بنگاه مورد نظر با بازده نزولی نسبت به مقیاس مواجه است و در غیر این‌صورت، شرط بازده صعودی نسبت به مقیاس برقرار خواهد بود.

این مدل را در روش DEA، مدل BCC با فرض بازدهی متغیر نسبت به مقیاس می‌نامند. براساس مدل BCC، کارایی محاسبه شده در مدل CCR به دو جزء کارایی مدیریتی و کارایی مقیاس تقسیم می‌شود.[1]

---

[1] Charnes, Cooper and Rhodes (1978)

۴. تحلیل پوششی داده‌های متقاطع

یکی از روش‌های رتبه‌بندی واحدهای کارا، استفاده از مدل "کارایی متقاطع" است که قابلیت بالایی در تفکیک‌پذیری واحدهای کارا دارد. انتخاب مقدار وزن‌ها در مدل برنامه‌ریزی ریاضی DEA به‌نحوی است که به واحد تحت بررسی اجازه می‌دهد تا اندازهٔ کارایی خود را نسبت به سایر واحدها حداکثر نماید. به این عدد کارایی، کارایی ساده اطلاق می‌شود. کارایی ساده محاسبه شده برای واحد k (E_{kk})، براساس وزن‌های دلخواه برای واحد k حداکثر می‌شود. اگر کارایی واحد دیگری مانند واحد j با وزن‌های انتخابی واحد k محاسبه گردد، کارایی به‌دست آمده کارایی متقاطع نامیده می‌شود (E_{kj}). با محاسبهٔ کارایی ساده و متقاطع برای همه واحدها، ماتریس کارایی متقاطع[1] به‌دست می‌آید. این ایده را اولین بار دویل و گرین[2] (۱۹۹۴) ارائه دادند. بعدها روش ترکیبی AHP و DEA نیز مبتنی بر ایدهٔ مذکور توسط سینانی استرن و همکاران[3] (۲۰۰۰) ابداع گردید. به‌طور کلی ایده کارایی متقاطع برای یافتن وزن‌های یک DMU به‌کار می‌رود که با استفاده از این وزن‌ها کارایی DMU های دیگر محاسبه می‌شود. مدل کارایی متقاطع واحد تصمیم‌گیر j بر اساس واحد تصمیم‌گیر kام به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E_{kj} = \frac{\sum_{r=1}^{s} \mu_{rk}\, y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m} \omega_{ik}\, x_{ij}} \qquad (۵)$$

که در آن x_{ij} ورودی iام واحد تصمیم‌گیر jام، y_{rj} خروجی rام واحد تصمیم‌گیر jام، ω_{ik} وزن ورودی rام حاصل از محاسبهٔ کارایی واحد تصمیم‌گیر kام، μ_{rk} وزن خروجی rام حاصل از محاسبهٔ کارایی واحد تصمیم‌گیر kام، m و s به ترتیب تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها و E_{kj} کارایی متقاطع واحد jام بر اساس وزن‌های محاسبه شده در سنجش کارایی واحد kام است.

پس از محاسبهٔ تمامی کارایی‌های متقاطع، میانگین کارایی DMU_j به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\overline{E}_{j} = \frac{\sum_{k \neq j} E_{kj}}{n-1} \qquad (۶)$$

---

[1] Cross-Efficiency Matrix
[2] Doyle and Green
[3] Sinuany-Stern et al.

با محاسبهٔ $\overline{E}_j$، DMU که بزرگ‌ترین میانگین کارایی را دارد، در رتبهٔ اول قرار گرفته و به‌ترتیب سایر DMUهای با اعداد پایین‌تر قرار می‌گیرند.

۵. مروری بر تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

این روش را اولین بار کارن پیرسن برای حل بعضی از مسائل دانشمندان بیومتری پیشنهاد داد. هتلینگ[1] (۱۹۳۳) روش PCA را بسط داد و رائو[2] (۱۹۶۴) با تفصیل بیشتری به انعکاس کاربرد آن پرداخت. اساساً در تحلیل جامعه‌های چند متغیره به‌منظور کاهش تعداد متغیرها به تعداد کمتری شاخص در جهت خلاصه کردن، منسجم و مستقل کردن اطلاعات و تعبیر و تفسیر آنها از تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده می‌شود. اگر p مؤلفه برای مطالعهٔ تغییرپذیری کل سیستم لازم باشد، در اغلب اوقات می‌توان این تغییرپذیری را با تعداد کمتری شاخص مثلاً K مؤلفه اصلی بیان نمود ($k \leq p$). در این‌صورت میزان اطلاعاتی که در k مؤلفه وجود دارد تقریباً در p متغیر اولیه نیز وجود خواهد داشت. در نتیجه k مؤلفه اصلی را می‌توان به جای p متغیر اولیه به‌کار برد و مجموعه داده‌های اولیه که شامل n مشاهده روی p متغیر است را به مجموعه‌ای از داده‌ها شامل n مشاهده در k مؤلفه اصلی کاهش داد. این موضوع یکی از اهداف روش PCA معروف به اصل کاهش داده‌هاست.[3] ولی هدف دیگری از به‌کارگیری روش PCA دنبال می‌شود و آن استفاده از ترکیب خطی p متغیر اولیه برای رسیدن به p شاخص غیروابسته است. عدم همبستگی به این معناست که شاخص‌ها هر کدام جنبه‌های متفاوتی از داده‌ها را توضیح می‌دهند.[4]

معمولاً از PCA به‌عنوان ورودی روش‌های دیگر همچون رگرسیون چندگانه، تحلیل خوشه‌ای، تحلیل عاملی و رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده می‌شود.[5] همان‌گونه که پیشتر توضیح داده شد، در این مقاله از PCA به‌عنوان ورودی روش DEA و به‌منظور استقلال متغیرها و کاهش تعداد آنها استفاده شده است.

مؤلفه‌های اصلی از نظر جبری ترکیب خطی ویژه p متغیر تصادفی $x_1, x_2, \ldots, x_P$ است. این ترکیبات خطی از نظر هندسی یک دستگاه مختصات را نشان می‌دهد که از دوران دستگاه اولیه با $x_1, x_2, \ldots, x_P$ به‌عنوان محورهای مختصات به‌دست می‌آیند. محورهای جدید جهت‌ها را

---

[1] Hotelling
[2] Rao
[3] نیرومند (۱۳۸۴)
[4] Shlens (2005)
[5] Sharma (1996)

با بیشترین تغییرپذیری نشان می‌دهد و بیان ساده‌تری از ساختار کوارایانس را فراهم می‌کند که در آن ماتریس کوارایانس مؤلفه‌های اصلی قطری می‌شود که معرف استقلال مؤلفه‌های اصلی جدید است.[1]

۵-۱. ساختار ریاضی PCA

فرض کنید بردار تصادفی $\mathbf{X}' = [x_1, x_2, ..., x_p]$ دارای ماتریس کوارایانس Σ با مقادیر ویژه λ_i ($\lambda_1 > \lambda_2 > ... > \lambda_p > 0$) باشد. (مقادیر ویژه یک ماتریس مربعی A از حل دستگاه معادلات $|\mathbf{A} - \lambda\mathbf{I}| = \mathbf{0}$ حاصل می‌شود). ترکیبات خطی زیر را در نظر بگیرید:

$$
\begin{aligned}
y_1 &= \mathbf{C'_1 X} = c_{11}x_1 + c_{21}x_2 + ... + c_{p1}x_p \\
y_2 &= \mathbf{C'_2 X} = c_{12}x_1 + c_{22}x_2 + ... + c_{p2}x_p \\
&\vdots \\
y_p &= \mathbf{C'_p X} = c_{1p}x_1 + c_{2p}x_2 + ... + c_{pp}x_p
\end{aligned}
\qquad (۷)
$$

x_iها متغیرهای اولیه و y_iها مؤلفه‌های جدید هستند که از ترکیب خطی متغیرهای اولیه حاصل شده‌اند ($\mathbf{C_i}$ها بردارهای ویژه هستند که درایه‌های آنها ضرایب متغیرهای جدید هستند). بردار ضرایب باید به گونه‌ای تعیین شوند که p مؤلفه جدید تقریباً کل واریانس موجود در متغیرهای اولیه را توضیح دهند.

حال با توجه به این توضیحات، عملاً در مسائل کاربردی نظیر موضوع این تحقیق، براساس داده‌های جمع‌آوری شده می‌توان متغیرهای جدید و جایگزینی با استفاده از رابطه (۷) تولید کرد که متغیرهای جدید علاوه بر آنکه مستقل هستند، دارای این ویژگی هستند که به ترتیب دارای بیشترین واریانس خواهند بود. با این حال این روش، در رویکرد تلفیقی پیشنهادی این مقاله مورد استفاده قرار گرفته که در ادامه، توضیحات کامل‌تر آن ارائه شده است.

۶. ورودی‌ها و خروجی‌های مدل DEA تجارت الکترونیکی

در این بررسی، عملکرد هر کشور در حال توسعه (که در پایگاه اطلاعاتی واحد هوشمند اقتصادی وجود دارند) در زمینه نحوه و چگونگی استفاده از منابع تجارت الکترونیکی مورد

---

[1] Shlens (2005)

ارزیابی قرار می‌گیرد و هر کشور به‌عنوان یک واحد قلمداد می‌گردد که دارای یکسری ورودی و خروجی است. ورودی‌های هر کشور در واقع عبارت است از آنچه در اختیار آن کشور قرار داده شده تا با استفاده از آن‌ها، خروجی یا خروجی‌هایی تولید شود.

بدین ترتیب ورودی‌های در نظر گرفته شده در این بررسی عبارتند از: تعداد رایانه شخصی، کاربران اینترنت، ضریب نفوذ اینترنت، امنیت سرورها، سرانه هزینه‌های ICT و ضریب نفوذ تلفن ثابت. همچنین خروجی‌های این مطالعه عبارتند از: امتیاز کشورها در زمینهٔ معیارهای اتصال و زیرساخت‌های فناوری، محیط تجاری، پذیرش مشتری و بنگاه‌ها، محیط قانونی و سیاسی، محیط فرهنگی و اجتماعی و پشتیبانی از خدمات الکترونیکی که در پایگاه اطلاعاتی واحد هوشمند اقتصادی موجود است. در زیر با شرح مختصری به بررسی ورودی‌ها وخروجی‌های در نظر گرفته شده برای هر یک از کشورهای مورد مطالعه پرداخته خواهد شد.

۶-۱. ورودی‌ها

ورودی در تحلیل پوششی داده‌ها عاملی است که با افزودن یک واحد از آن به سیستم، با ثابت فرض کردن سایر شرایط (شامل خروجی)، کارایی را کاهش خواهد داد. ورودی‌های این تحقیق که در زیر به آن اشار شده، از پایگاه اطلاعاتی[1] احصا شده است.

۶-۱-۱. تعداد رایانه شخصی

رایانه یکی از مهم‌ترین ابزارهای توسعه تجارت الکترونیکی محسوب می‌شود که می‌توان به کمک آن فعالیت‌های کسب‌وکار تجاری را انجام داد که در این مدل به‌عنوان ورودی در نظر گرفته شده است.

۶-۱-۲. کاربران اینترنت

تعداد کاربران اینترنت نیز نقش عمده‌ای در ایجاد و گسترش تجارت الکترونیکی ایفا می‌نمایند و لذا در این مدل تعداد کاربران اینترنت به‌عنوان یک ورودی مدنظر است.

۶-۱-۳. ضریب نفوذ اینترنت

با توجه به اهمیت اینترنت در توسعه فعالیت‌های تجارت الکترونیکی، ایجاد و گسترش دامنه و قلمرو پوشش اینترنتی می‌تواند در توسعه تجارت الکترونیکی مؤثر باشد. چرا که عمده‌ترین فعالیت‌های کسب‌وکار از طریق اینترنت صورت می‌گیرد.

۶-۱-۴. امنیت سرورها

میزان امنیت سرورها نیز در ایجاد اعتماد و اطمینان در نزد کاربران مؤثر بوده و اشتیاق آنها را

---

[1] World Development Indicator (WDI)

در استفاده از شیوه‌های الکترونیکی و در نتیجه گسترش تجارت الکترونیکی افزایش می‌دهد.

۶-۱-۵. سرانه هزینه‌های ICT

بدون تردید هزینه‌های سرمایه‌گذاری در توسعه تجارت الکترونیکی در تمامی ابعاد بسیار بااهمیت است که در این تحقیق به‌عنوان ورودی مدنظر است.

۶-۱-۶. ضریب نفوذ تلفن ثابت

پایه و اساس توسعه زیرساخت‌های تجارت الکترونیکی همانا ضریب نفوذ تلفن ثابت است، چرا که بدون آن امکان استفاده از اینترنت و در نتیجه فعالیت‌های تجارت الکترونیکی میسر نمی‌شود.

۶-۲. خروجی

خروجی در تحلیل پوششی داده‌ها عاملی است که با افزودن یک واحد از آن به سیستم با ثابت فرض کردن سایر شرایط (شامل ورودی)، کارایی را افزایش خواهد داد. با این تعریف، در این تحقیق امتیازات هر کشور در پایگاه اطلاعاتی واحد هوشمند اقتصادی بر مبنای ۶ معیار اتصال و زیرساخت‌های فناوری، محیط تجاری، سازگاری مشتری و بنگاه‌ها، محیط قانونی و سیاسی، محیط فرهنگی و اجتماعی و پشتیبانی از خدمات الکترونیکی به‌عنوان خروجی‌های تحقیق انتخاب شده است. بدین منظور خروجی‌های این تحقیق شامل ۶ خروجی به ترتیب معیارهای شش‌گانهٔ بالاست.

۷. استخراج نتایج مدل

همان‌طور که در مقدمه اشاره شد، فرآیند تحقیق به نحوی است که با در نظر گرفتن ورودی‌ها و خروجی‌ها و ارزیابی کارایی به روش تحلیل پوششی داده‌ها، مقایسه‌ای میان کشورهای در حال توسعه انجام می‌پذیرد. در این مقاله از دو مدل CCR با فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس و BCC با فرض بازدهی متغیر نسبت به مقیاس استفاده شده است.

در این باره ابتدا، با ۶ ورودی و ۶ خروجی مذکور مدل DEA با استفاده از نرم‌افزار Deap2 انجام شد که نتایج نشان‌دهندهٔ ایرادهای عمده‌ای در خروجی برنامه‌ریزی ریاضی بود. از آن جمله می‌توان به برابر بودن تقریبی نتایج کارایی فنی و مقیاسی و در نتیجه یک و یا نزدیک به یک بودن نتایج خروجی مدل اشاره کرد. همچنین در تمامی کشورها بازده‌ها ثابت و یا کاهنده نسبت به مقیاس بودند. دلیل عمده این نوع اشکال‌ها آن است که متغیرهای خروجی وابسته به هم بوده و نمی‌توان ترکیب خطی از متغیرهای خروجی به هم وابسته را در مدل تحلیل پوششی داده‌ها استفاده کرد. برای مثال؛ دو خروجی "محیط تجارت" و "سازگاری مشتری و بنگاه‌ها"

عملاً مستقل از هم نبوده و دارای وابستگی هستند. به‌منظور آزمون همبستگی متغیرهای خروجی، ضریب همبستگی آنها و P- مقدار [1] آزمون همبستگی محاسبه شده و نتایج آن در جدول ۱ خلاصه شده است. در جدول ۱، عدد بالایی ضریب همبستگی پیرسون و عدد پایینی P- مقدار آزمون را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این جدول ملاحظه می‌شود، با توجه به ضریب همبستگی بالای متغیرهای خروجی و کوچک بودن P- مقدار آزمون می‌توان نتیجه گرفت که تمامی متغیرهای خروجی از لحاظ آماری به هم وابسته‌اند و نمی‌توان از آنها در تحلیل پوششی داده‌ها استفاده نمود. بنابراین، می‌بایست به نحوی این متغیرها را از یکدیگر مستقل کرد و سپس از آنها به‌عنوان ورودی مدل برنامه‌ریزی ریاضی استفاده کرد.

جدول ۱. نتایج خروجی PCA

همبستگی: خروجی ۱، خروجی ۲، خروجی ۳، خروجی ۴، خروجی ۵، خروجی ۶						
	خروجی ۱	خروجی ۲	خروجی ۳	خروجی ۴	خروجی ۵	
خروجی ۲	۰/۷۳۹ ۰/۰۰۰					
خروجی ۳	۰/۶۴۲ ۰/۰۰۰	۰/۶۲۲ ۰/۰۰۰				
خروجی ۴	۰/۶۰۹ ۰/۰۰۰	۰/۶۸۵ ۰/۰۰۰	۰/۸۵۴ ۰/۰۰۰			
خروجی ۵	۰/۷۵۲ ۰/۰۰۰	۰/۷۰۵ ۰/۰۰۰	۰/۷۱۵ ۰/۰۰۰	۰/۷۶۹ ۰/۰۰۰		
خروجی ۶	۰/۷۲۳ ۰/۰۰۰	۰/۷۶۴ ۰/۰۰۰	۰/ ۷۵۶ ۰/۰۰۰	۰/۸۰۳ ۰/۰۰۰	۰/۸۸۶ ۰/۰۰۰	
محتوای جدول: ضریب همبستگی پیرسون P- مقدار						

در جدول ۱، خروجی ۱ تا ۶ به ترتیب اتصال و زیرساخت‌های فناوری، محیط تجاری، سازگاری مشتری و بنگاه‌ها، محیط قانونی و سیاسی، محیط فرهنگی و اجتماعی و پشتیبانی از خدمات الکترونیکی هستند و از این بخش مقاله به بعد به ترتیب با out1 تا out6 مشخص شده‌اند.

در این مقاله از روش PCA برای مستقل نمودن متغیرهای خروجی استفاده شده است. همان‌گونه که در مرور ادبیات PCA به آن اشاره شد معمولاً اکثر واریانس متغیرهای اولیه به‌وسیلهٔ یک یا دو مؤلفه جدید توضیح داده می‌شود. از دیگر ویژگی‌های مؤلفه‌های جدید آن

[1] P-Value

است که این متغیرها از یکدیگر مستقل هستند و می‌توان از مقادیر آنها به ورودی روش تحلیل پوششی داده‌ها و ارزیابی کارایی استفاده کرد. بدین منظور با استفاده از روش PCA و براساس مشاهدات مربوط به ۶ متغیر خروجی، مقادیر و بردارهای ویژه را محاسبه کرده و از مؤلفه‌های بردارهای ویژه برای تشکیل متغیرهای جدید استفاده می‌کنیم. خروجی‌های روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی با استفاده از نرم‌افزار Minitab استخراج شده و نتایج آن در جدول ۲ خلاصه شده است. سطر اول این جدول مقادیر ویژه ماتریس کواریانس متغیرها، سطر دوم درصدی از واریانس که توسط مؤلفه‌های اصلی توضیح داده می‌شود و سطر سوم فراوانی تجمعی واریانس توضیح داده شده توسط مؤلفه‌های اصلی را نشان می‌دهد. در انتها مقادیر بردارهای ویژه یا به‌عبارتی ضرایب متغیرهای اولیه برای تشکیل مؤلفه‌های جدید نشان داده شده است.

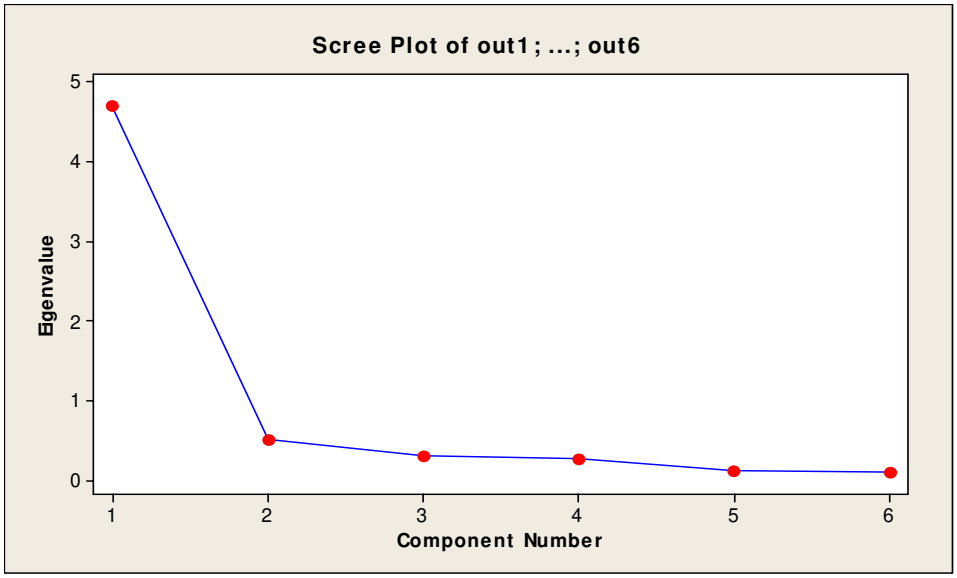
جدول ۲. نتایج تحلیل مؤلفه‌های اساسی توسط نرم‌افزارMinitab

تحلیل مؤلفه‌های اصلی: متغیر خروجی ۱ تا خروجی ۶						
تحلیل مقادیر ویژه ماتریس همبستگی						
مقدار ویژه	۴/۹۶	۰/۵۰۳۴	۰/۳۱۱۲	۰/۲۶۵۳	۰/۱۲۷۷	۰/۰۹۸۹
نسبت	۰/۷۸۲	۰/۰۸۴	۰/۰۵۲	۰/۰۴۴	۰/۰۲۱	۰/۰۱۶
تجمعی	۰/۷۸۲	۰/۸۶۶	۰/۹۱۸	۰/۹۶۲	۰/۹۸۴	۱/۰۰۰
متغیر	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
out1	−۰/۳۸۷	۰/۵۹۲	−۰/۰۵۰	۰/۶۴۹	۰/۱۹۵	−۰/۱۹۷
out2	−۰/۳۹۵	۰/۳۷۷	−۰/۵۹۳	−۰/۵۵۴	−۰/۰۲۹	۰/۲۰۵
out3	−۰/۴۰۳	−۰/۴۹۱	−۰/۳۳۰	۰/۳۹۹	−۰/۵۴۷	۰/۱۷۱
out4	−۰/۴۱۲	−۰/۵۱۰	−۰/۰۸۸	−۰/۰۴۹	۰/۷۳۶	−۰/۱۳۷
out5	−۰/۴۲۱	۰/۰۷۷	۰/۶۲۶	−۰/۰۷۸	۰/۰۰۸	۰/۶۴۷
out6	−۰/۴۳۰	−۰/۰۰۶	۰/۳۷۰	−۰/۳۲۳	−۰/۳۴۸	−۰/۶۷۳

همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، حدود ۸۷ درصد از واریانس متغیرهای اولیه به‌وسیلهٔ دو مؤلفه اصلی اول توضیح داده می‌شوند. لذا، به‌منظور کاهش تعداد متغیرها و سهولت بیشتر کار به‌جای استفاده از ۶ مؤلفه اصلی جدید از دو مؤلفه اصلی که بیشترین واریانس را توضیح می‌دهند استفاده می‌کنیم. این موضوع توسط نمودار سنگریزه[1] مؤلفه‌های اصلی در نمودار ۱ نیز تأیید شده است. در این نمودار مکان تشکیل نقطه شکست، تعداد مناسب مؤلفه‌های اصلی را برای تحلیل نشان می‌دهد.

[1] Scree Plot

نمودار ۱. نمودار سنگریزه مؤلفه‌های اصلی



براساس نتایج به‌دست آمده در جدول ۲، دو مؤلفه اصلی اول براساس سیستم معادلات (۷) به‌صورت معادلات (۸) و (۹) نوشته می‌شوند.

PC1=-0.387out1-0.395out2-0.403out3-0.412out4-0.421output5-0.43out6 (۸)

PC2=0.592out1+0.377out2-0.491out3-0.51out4+0.077out5-0.006out6 (۹)

در ادامه با استفاده از روابط (۸) و (۹) و همچنین مقادیر مشاهدات متغیرهای خروجی اولیه، امتیازهای دو مؤلفه اصلی جدید مجدداً محاسبه شده و از آنها به‌عنوان ورودی روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده می‌شود. نتایج مربوط به محاسبه امتیازهای دو متغیر جدید در جدول ۳ ارائه شده است.

به‌عبارت دیگر، دو متغیر خروجی PC1 و PC2 به‌عنوان متغیرهای خروجی برای تحلیل پوششی داده‌ها استفاده خواهند شد. با وجود آنکه روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی منجر به ایجاد متغیرهای مستقل می‌شود ولی به‌منظور اطمینان از صحت محاسبات انجام شده، از آزمون همبستگی استفاده کرده و ضریب همبستگی پیرسون و P-مقدار آزمون مذکور را محاسبه و نتایج آن نشان‌دهندهٔ استقلال آماری دو متغیر خروجی جدید است.

جدول ۳. امتیازهای دو مؤلفه اصلی جدید

مشاهده	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
PC1	-۴/۴۹	-۳/۵۸	-۳/۵۲	-۲/۹۷	-۱/۸۲	-۲/۰۱	-۱/۷۵	-۲/۷۳	-۲/۸۸	-۲/۱
PC2	۱/۳۶	-۰/۲۶	۰/۱۲	-۱/۶۶	۰/۱۳	۰/۶۵	-۰/۲۷	۰/۴۹	۰/۲۹	۱/۰۶
مشاهده	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
PC1	-۰/۳۵	-۱/۶۳	-۱/۴۵	-۰/۰۶	-۰/۶۷	-۰/۰۶	-۰/۸	-۰/۰۲	۰/۲۹	۰/۰۴
PC2	۰/۳۷	-۰/۸۹	-۰/۶۲	۰/۱۵	-۰/۵۸	-۰/۰۹	۰/۶۵	۰/۳۲	-۱/۰۱	-۰/۷۲
مشاهده	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
PC1	۰/۵۲	۰/۲۲	۰/۱۳	۰/۸۶	۱/۰۸	۰/۲۶	۰/۹۸	۱/۳۶	۱/۷	۱/۶۸
PC2	-۰/۳۶	-۰/۵۷	-۰/۹	۰/۲۲	۰/۵۸	۱/۱۶	-۰/۲۱	-۰/۷۲	۰/۶۶	-۰/۴۴
مشاهده	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸		
PC1	۲/۲۵	۳/۲۷	۲/۸۷	۳/۱۸	۲/۸۹	۲/۵۳	۳/۶۱	۳/۱۳		
PC2	-۱/۵	-۰/۲۳	۰/۴۲	۰/۲۲	۰/۴۱	۰/۴	۰/۶۲	۰/۷۴		

در ادامه با توجه به نرمال بودن داده‌های ورودی، داده‌های مربوط به متغیر خروجی نیز نرمال شده‌اند که در جدول ۴ مشاهده می‌شود. نحوهٔ نرمال نمودن مشاهدات بدین صورت است که مقدار مینیمم مشاهده از هر یک از مشاهدات کسر شده و نتیجه بر دامنهٔ تغییرات (اختلاف بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین مشاهده) تقسیم شده است. این تغییر فرم منجر می‌شود که دامنهٔ تغییرات مشاهدات بین صفر و یک قرار گیرد.

جدول ۴. نتایج نرمال شدن داده‌های خروجی

مشاهده	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
PC1	۰	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۳۲	۰/۳	۰/۳۳	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۲۹
PC2	۱	۰/۴۶	۰/۵۸	۰	۰/۵۹	۰/۷۶	۰/۴۵	۰/۷۱	۰/۶۴	۰/۹
مشاهده	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
PC1	۰/۵	۰/۳۵	۰/۳۷	۰/۵۴	۰/۴۷	۰/۵۴	۰/۴۵	۰/۵۵	۰/۵۸	۰/۵۵
PC2	۰/۶۷	۰/۲۵	۰/۳۴	۰/۶	۰/۳۵	۰/۵۱	۰/۷۶	۰/۶۵	۰/۲۱	۰/۳
مشاهده	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
PC1	۰/۶۱	۰/۵۸	۰/۵۶	۰/۶۵	۰/۶۸	۰/۵۸	۰/۶۷	۰/۷۲	۰/۷۶	۰/۷۶
PC2	۰/۴۲	۰/۳۵	۰/۲۵	۰/۶۲	۰/۷۴	۰/۹۳	۰/۴۷	۰/۳	۰/۷۶	۰/۴
مشاهده	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸		
PC1	۰/۸۳	۰/۹۵	۰/۹	۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۸۶	۱	۰/۹۴		
PC2	۰/۰۵	۰/۴۷	۰/۶۸	۰/۶۲	۰/۶۹	۰/۶۸	۰/۷۵	۰/۷۹		

با مشخص شدن مقادیر ۲ متغیر خروجی، با استفاده از ۲ متغیر خروجی مستقل و ۶ متغیر ورودی، مجدداً از مدل برنامه‌ریزی ریاضی استفاده شده که نتایج آن به‌شرح تفصیلی جدول ۵ است.

براساس نتایج محاسبات مدل برنامه‌ریزی ریاضی، میانگین کارایی مقیاس ۰/۴۹۴ و میانگین کارایی مدیریت ۰/۷۸۴ است. این بدین معناست که کشورها با ثابت فرض کردن سایر شرایط هم به لحاظ مقیاس و هم به لحاظ مدیریت، دارای فضای خالی بسیار زیادی هستند، بنابراین، می‌بایست ترتیبی اتخاذ گردد که از منابع موجود تجارت الکترونیکی به‌طور بهینه استفاده شود. موضوع دیگری که با توجه به نتایج کارایی می‌توان به آن اشاره نمود، این است که میانگین کل کارایی در کشورهای مورد مطالعه ۰/۴۳۸ است. این بدان معناست که از ۱۰۰۰ واحد ظرفیت کشورها، تنها از ۴۳۸ واحد استفاده می‌شود و ۵۶۲ واحد دیگر آن به‌عنوان ظرفیت قابل توسعه، عملاً بلااستفاده می‌ماند. به‌عبارت دیگر، می‌توان گفت هر کشور بدون افزایش ورودی‌های خود و با همین امکانات موجود می‌تواند خروجی خود را ۵۶/۲ درصد افزایش دهد. بدین ترتیب می‌توان براساس یک فرآیند علمی ادعا نمود که کشورهای مورد مطالعه در زمینهٔ تجارت الکترونیکی عملاً ۵۶/۲ درصد زیر ظرفیت فعالیت می‌کنند.

با توجه به کارایی فنی مندرج در جدول ۵ ملاحظه می‌شود که ۸ کشور به‌عنوان الگو تعیین شده‌اند، چرا که کارایی آنها برابر یک (کارایی واحد) است و لازم است که آنها را رتبه‌بندی نماییم. در این خصوص، برای رتبه‌بندی واحدهای دارای کارایی فنی واحد از روش DEA متقاطع استفاده می‌شود که نتایج آن در بخش ۸ ارائه شده است.

جدول ۵. میزان انواع کارایی به تفکیک کشورها در سال ۲۰۰۵

ردیف	نام کشور	کارایی فنی	کارایی مدیریت	کارایی مقیاس	نوع مقیاس
۱	استونی	۰/۱۲۵	۱	۰/۱۲۵	بازده فزاینده
۲	شیلی	۰/۰۹۲	۰/۵۱۶	۰/۱۷۸	بازده کاهنده
۳	مجارستان	۰/۰۸۷	۰/۶۲۹	۰/۱۳۸	بازده کاهنده
۴	افریقای جنوبی	۰/۰۳۱	۰/۱۹	۰/۱۶۳	بازده کاهنده
۵	مالزی	۰/۱۱۳	۰/۶۵۵	۰/۱۷۳	بازده کاهنده
۶	لتونی	۰/۱۴	۰/۸۲۵	۰/۱۷	بازده کاهنده
۷	مکزیک	۰/۱۵۵	۰/۵۷	۰/۲۷۲	بازده کاهنده
۸	اسلواکی	۰/۱۱۷	۰/۷۵۵	۰/۱۵۵	بازده کاهنده
۹	لهستان	۰/۱۲۹	۰/۶۹۷	۰/۱۸۵	بازده کاهنده
۱۰	لیتوانی	۰/۱۵۷	۰/۹۴۹	۰/۱۶۶	بازده کاهنده
۱۱	ترکیه	۰/۲۰۵	۰/۸۱۴	۰/۲۵۲	بازده کاهنده
۱۲	برزیل	۰/۰۸۳	۰/۳۵	۰/۲۳۷	بازده کاهنده
۱۳	آرژانتین	۰/۰۸۵	۰/۴۱۹	۰/۲۰۳	بازده کاهنده
۱۴	رومانی	۰/۳۰۸	۰/۷۰۴	۰/۴۳۷	بازده کاهنده
۱۵	جامائیکا	۰/۱	۰/۴۷۲	۰/۲۱۲	بازده کاهنده
۱۶	عربستان	۰/۱۸۹	۰/۶۴۹	۰/۲۹۲	بازده کاهنده
۱۷	بلغارستان	۰/۳۳	۰/۹۱۶	۰/۳۶	بازده کاهنده
۱۸	تایلند	۰/۳۳۸	۰/۸۷۸	۰/۳۸۴	بازده کاهنده
۱۹	ونزوئلا	۰/۱۲۵	۰/۵۹	۰/۲۱۲	بازده کاهنده
۲۰	پرو	۰/۱۹۱	۰/۵۷۳	۰/۳۳۳	بازده کاهنده
۲۱	اردن	۰/۱۷۹	۰/۶۲	۰/۲۸۹	بازده کاهنده
۲۲	کلمبیا	۰/۱۴۳	۰/۵۸	۰/۲۴۷	بازده کاهنده
۲۳	هند	۰/۹۷۶	۱	۰/۹۷۶	بازده فزاینده
۲۴	فیلیپین	۰/۷۶۱	۰/۹۰۵	۰/۸۴۱	بازده کاهنده
۲۵	چین	۰/۶۸۸	۱	۰/۶۸۸	بازده فزاینده
۲۶	روسیه	۰/۴۲۹	۱	۰/۴۲۹	بازده فزاینده
۲۷	مصر	۱	۱	۱	بازده ثابت
۲۸	اکوادور	۰/۳۷۷	۰/۷۲۷	۰/۵۱۸	بازده کاهنده
۲۹	اکراین	۰/۵۴۴	۱	۰/۵۴۴	بازده فزاینده
۳۰	سریلانکا	۰/۶۴۷	۰/۷۹۳	۰/۸۱۶	بازده کاهنده
۳۱	نیجریه	۱	۱	۱	بازده ثابت
۳۲	پاکستان	۱	۱	۱	بازده ثابت
۳۳	قزاقستان	۱	۱	۱	بازده ثابت
۳۴	ویتنام	۱	۱	۱	بازده ثابت
۳۵	الجزایر	۱	۱	۱	بازده ثابت
۳۶	اندونزی	۱	۱	۱	بازده ثابت
۳۷	آذربایجان	۱	۱	۱	بازده ثابت
۳۸	ایران	۰/۷۸۲	۱	۰/۷۸۲	بازده فزاینده
-	میانگین	۰/۴۳۸	۰/۷۸۴	۰/۴۹۴	-

۸. رتبه‌بندی کشورهای دارای کارایی واحد با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌های متقاطع

در بخش قبلی مشاهده شد که ۸ کشور مصر، نیجریه، پاکستان، قزاقستان، ویتنام، الجزایر، اندونزی و آذربایجان دارای کارایی فنی واحد بوده و به‌دلیل آنکه هر ۸ کشور دارای کارایی یک هستند، امکان رتبه‌بندی این کشورها میسر نیست. لذا، برای رتبه‌بندی دقیق این کشورها از روش DEA متقاطع استفاده می‌شود. بدین‌نحو که ابتدا با بهره‌گیری از مدل DEA کشورهای دارای کارایی فنی واحد مشخص می‌شوند. سپس با استفاده از رابطه ۱ مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای هر یک از کشورهای کارا با استفاده از نرم‌افزار Lingo محاسبه شده و وزن‌های مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌های این ۸ کشور مشخص می‌شود. سپس ماتریسی تشکیل شده که در ردیف و ستون آن کشورهای کارا قرار می‌گیرد. برای به‌دست آوردن اعداد داخل ماتریس، وزن ورودی‌ها و خروجی‌های هر کشور را که در ردیف ماتریس قرار دارند، با اعداد مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌های کشورهای کارای موجود در ستون ماتریس درنظر گرفته و رابطهٔ ۵ را برقرار می‌نماییم و نتایج خروجی آنرا در ماتریس قرار می‌دهیم. برای نمونه عدد مربوط به کشور مصر ـ نیجریه به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

مطابق با مراحل مذکور ابتدا با استفاده از رابطهٔ ۱ مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای کشور مصر حل می‌شود که در قالب جدول ۶ نتایج خروجی آن ملاحظه می‌گردد.

جدول ۶. خروجی مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای کشور مصر با استفاده از نرم‌افزار Lingo

راه حل بهینه جهانی در تکرار دوم به‌دست آمد مقدار تابع هدف: ۱		
هزینه کاهش یافته	مقدار	متغیر
۰/۰۰۰	۱/۴۷	U1
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	U2
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	V1
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	V2
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	V3
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	V4
۰/۰۰۰	۳۳/۳۳	V5
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	V6

سپس برای تشکیل ماتریس و اعداد داخل از رابطهٔ ۵ استفاده می‌نماییم که نتایج آن برای کشور مصر ـ نیجریه به‌صورت زیر است:

$$\frac{\sum UY}{\sum VX} = \frac{(1.47 \times 0.83) + (0 \times 0.05)}{(0 \times 0.02) + (0 \times 0.01) + (0 \times 0.0001) + (0 \times 0.001) + (33.33 \times 0.11) + (0 \times 0.01)} = 0.332$$

برای سایر اعداد ماتریس نیز براساس این فرمول محاسبات انجام می‌شود که نتایج همهٔ محاسبات در ماتریس زیر قابل مشاهده است. براساس ماتریس زیر کشور اندونزی در رتبهٔ اول و سپس به‌ترتیب کشورهای ویتنام، پاکستان، الجزایر، مصر، آذربایجان، نیجریه و قزاقستان در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

جدول ۷. نتایج محاسبات تحلیل پوششی داده‌های متقاطع

کشور	مصر	نیجریه	پاکستان	قزاقستان	ویتنام	الجزایر	اندونزی	آذربایجان
مصر	۱	۰/۳۳۲	۰/۴۷	۰/۵۰۱	۰/۵۲۳	۰/۵۰۱	۰/۶۳۹	۰/۷۳۵
نیجریه	۰/۵۱۲	۱	۱/۰۰۰۲	۰/۳۸۲	۰/۹۶۱	۰/۶۵۳	۱/۰۰۰۵	۰/۴۹۲
پاکستان	۰/۲۹۲	۰/۹۹۵	۱	۰/۲۶۶	۰/۹۹۹	۰/۵۸۶	۰/۹۶۵	۰/۳۲۲
قزاقستان	۰/۵۶	۰/۰۸۱۶	۰/۸۲۷	۱	۰/۹۷۱	۱/۰۰۱	۱/۰۰۱	۰/۷۴۴
ویتنام	۰/۴۳۹	۰/۹۹۵	۰/۷۸۴	۰/۱۹۳	۱	۰/۴۳۷	۰/۹۲۲	۰/۲۴۱
الجزایر	۰/۸۰۱	۰/۷۲۱	۰/۹۹۸	۰/۹۱۳	۰/۷۴۳	۱	۰/۸۰۵	۱/۰۰۰۱
اندونزی	۱/۰۰۰۸	۰/۰۴۳۶	۰/۴۷۹	۰/۶۱۸	۰/۷۰۶	۰/۷۲۲	۱	۰/۸۶۸
آذربایجان	۱/۰۰۱۴	۰/۶۰۰۵	۰/۸۱	۰/۷۸۹	۰/۷۳۸	۰/۸۲۲	۰/۸۳۳	۱
$E_k = \frac{\sum_{j \neq k} E_{jk}}{n-1}$	۰/۶۵۸	۰/۵۳۸	۰/۷۶۶	۰/۵۲۳	۰/۸۰۵	۰/۶۷۴	۰/۸۸	۶۲۸

۹. نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی کارایی کشورهای منتخب در زمینهٔ فعالیت‌های تجارت الکترونیکی طی سال ۲۰۰۵ نشان می‌دهد که کارایی فنی کشورها با میانگین ۰/۴۳۸ دارای وضعیت بسیار نامناسبی است و تنها ۸ کشور در حالت کارایی کامل یا ۱۰۰ درصد فعالیت می‌نمایند که برمبنای روش تحلیل پوششی داده‌های متقاطع کشور اندونزی در رتبهٔ اول و سپس به‌ترتیب کشورهای ویتنام، پاکستان، الجزایر، مصر، آذربایجان، نیجریه و قزاقستان در رتبه‌های بعدی به لحاظ کارایی فنی قرار دارند.

کارایی مدیریتی کشورها با میانگین ۰/۷۸۴ وضعیت عملکردی مطلوب‌تری دارد به‌طوری که ۱۴ کشور به‌عنوان کشورهای کارا محسوب می‌شوند. ولی کارایی مقیاسی با میانگین ۰/۴۹۴ بیانگر وضعیت نامطلوبی است. ضمن آنکه تنها تعداد ۸ کشور در مقیاس بهینه فعالیت می‌نمایند.

برمبنای نتایج به‌دست آمده، ایران نیز از جایگاه نسبتاً مطلوبی به لحاظ استفادهٔ بهینه از منابع تجارت الکترونیکی برخوردارست و کارایی فنی، مدیریتی و مقیاسی آن به‌ترتیب ۰/۷۸۲، ۱، ۰/۷۸۲ است که به لحاظ این سه نوع کارایی به‌ترتیب دارای ۰/۲۱۸، ۰ و ۰/۲۱۸ میزان ظرفیت خالی است. همچنین در نهایت، استفاده از ۵۶/۲ درصد ظرفیت خالی با الگوبرداری از کشور اندونزی می‌تواند استفاده بهینه از منابع را در زمینه فعالیت‌های تجارت الکترونیکی برای کشورهای در حال توسعه امکان‌پذیر سازد.

مآخذ

امامی میبدی، علی. (۱۳۷۹). *اصول اندازه گیری کارائی و بهره‌وری*. انتشارات مؤسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی. تهران.

فرهنگ، منوچهر. (۱۳۷۸). *فرهنگ علوم اقتصادی*. انتشارات البرز، تهران.

نیرومند، حسینعلی. (۱۳۸۴). *تحلیل آماری چند متغیره کاربردی*. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical scale efficiencies in envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092.

Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operation Research*, 2(6), 429-444.

Doyle, J., & Green, R. (1994). Efficiency and cross-efficiency in DEA: Derivations, meanings and uses. *Journal of the Operational Research Society*, 45(5), 567-578.

Farrell, M. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistics Society, Series A*, 120(3), 253-281.

Hotelling, H. (1933). Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology*, 24, 417-441.

Johnes, G., & Johnes, J. (1993). *Measuring the research performance of U.K. economic department: An application of data envelopment analysis*. Oxford Economic Paper, 45, 332-347.

Mokyr, J. (1996). *Are we living in the middle of an industrial revolution?* Federal Reserve Bank of Kansas, City Economic Review, Second Quarter, 32, Morrison, Catherine J.

Rao, C. R. (1964). *The use and interpretation of principal component analysis in applied research*. Sankhya A, 26, 329-358.

Schmidt, P., & Sickles, R. C. (1984). Production frontiers and panel data. *Journal of Business and Economics Statistics*, 2, 367-374.

Sharma, S. (1996). *Applied Multivariate Techniques*. John Wiley and Sons Inc.

Shlens, J. (2005). A tutorial on principal component analysis. Web site: http://www.snl.salk.edu/~shlens/pub/notes/pca.pdf

Sinuany-Stern, Z., Mehrez, A., & Yossi, H. (2000). An AHP/DEA methodology for ranking decision making units. *International Transactions in Operational Research*, 7, 109-124.

Turban, E., King, D., Warketin, J., & Chung, H. M. (2002). *Electronic commerce 2002: A managerial perspective*, New Jersey, Pearson Education, Inc.

Web site: http://www.unctad.org