استخراج منحنی یادگیری نیروی کار برای صنایع کارخانه‌ای منتخب ایران

سمیه صمدی ورنکش

کارشناسی ارشد مهندسی صنایع ـ مدیریت سیستم و بهره‌وری (نویسنده مسئول)، samadi.varankesh@gmail.com

علی اصغر اسدی

کارشناسی ارشد مهندسی صنایع ـ مدیریت سیستم و بهره وری، eng.aliasghar.asadi@gmail.com

امید ساعدی

پژوهشگر اقتصادی و مالی، omidsy1994@yahoo.com

چکیده

در اقتصاد صنعتی منحنی یادگیری نشان می‌دهد که با افزایش تعداد واحدهای تولید، هزینه‌های تولید به طور مداوم کاهش می‌یابد. در واقع، این منحنی نشان می‌دهد که با افزایش تولید، نرخ یادگیری بهبود پیدا می‌کند و هزینه‌های تولید کاهش می‌یابد. در این پژوهش مفهوم منحنی یادگیری نیروی کار در صنایع منتخب کارخانه‌ای ایران طی دوره ۱۳۹۴-۱۳۷۵ مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی داده‌های تابلویی (روش اثرات ثابت)، فرم منحنی یادگیری زیربخش‌های منتخب صنعتی اقتصاد ایران (۶ فعالیت منتخب) استخراج شد. براساس نتایج تخمین مدل اقتصادسنجی، فرم درجه دو منحنی یادگیری برای صنایع منتخب تایید گردید و منحنی یادگیری برای این صنایع U- معکوس است. بنابراین افزایش سطح تولید و استفاده از صرفه‌های ناشی از مقیاس باید در این فعالیت‌ها مورد توجه قرار گیرد.

واژگان کلیدی: منحنی یادگیری، یادگیری نیروی کار، صنایع کارخانه‌ای، داده‌های تابلویی

مقدمه

منحنی یادگیری در اقتصاد صنعتی یک نمودار تجربی است که نرخ یادگیری و بهبود در یک صنعت یا فرآیند خاص را نمایش می‌دهد. این منحنی به ما نشان می‌دهد که با گذشت زمان و افزایش تجربه و تولید، عملکرد و بهره‌وری به چه شکلی تغییر می‌کند. کاربردهای اصلی منحنی یادگیری در اقتصاد صنعتی شامل تعیین بهره‌وری بیشتر، بهبود فرآیندها، پیش‌بینی تغییرات آینده، و انتخاب استراتژی‌های بهینه برای رقابت در بازار می‌باشد. این ابزار مفید به شرکت‌ها و سازمان‌ها کمک می‌کند تا تصمیم‌های بهره‌وری و استراتژیک خود را بر اساس داده‌های تجربی و علمی اتخاذ کنند و عملکرد خود را بهبود ببخشند.مطالعات انجام شده در طیف گسترده‌ای از صنایع نشان می‌دهد که هزینه‌ها با تولید بیشتر، کاهش می‌یابد. این پدیده به دو دلیل مهم «صرفه‌های ناشی از مقیاس» و «یادگیری ضمن کار[1]» اتفاق می‌افتد. در مطالعات تجربی یادگیری ضمن کار، منحنی یادگیری[2] نیز نامیده می‌شود و اولین بار توسط رایت[3] (۱۹۳۶) در صنعت هواپیماسازی بعد از مشاهده چگونگی کاهش هزینه مونتاژ هواپیما به هنگام انجام فرآیند تکراری نشان داده شد (آنزالنو و فوگلیاتو[4] ، ۲۰۱۱، ص ۵۷۴). فرآیند یادگیری که به بهبود بهره‌وری و کاهش هزینه تولید می-انجامد، در دو گروه یادگیری نیروی کار و یادگیری سازمانی طبقه‌بندی می‌شود. یادگیری نیروی کار فرآیندی است که طی آن، اشخاص مهارت و توانایی لازم را از طریق تجربه کسب می‌نمایند. بنابراین هر چه تجربه بیشتری کسب شود عملکرد کارگران بهبود یافته و زمان مورد نیاز برای تولید هر واحد محصول کاهش می‌یابد. این در حالی است که یادگیری سازمانی فرآیندی پویا است که به توانایی و مهارت بنگاه‌ها از طریق کسب تجربه در تولید محصول نسبت به رقبای خود اشاره دارد. در این فرآیند، توسعه دانش با ابداع تولید، بهبود در فرآیند تولید و کیفیت تولید مرتبط است و بنگاهی که نسبت به رقبا، با تولید دانش جدید سازگارتر باشد، اثربخش‌تر و کاراتر خواهد بود (نورانی آزاد و خداداد کاشی، ۱۳۹۶، ص ۱۷۵). منحنی یادگیری (یا منحنی تجربه[5]) ابزاری است که به طور گسترده، جهت برنامه‌ریزی تولید و پیش‌بینی هزینه در اقتصاد مورد استفاده قرار می‌گیرد، از همین روی، برنامه‌ریزان و مشاوران راهبردی بخش صنعت در تحلیل‌های خود از منحنی یادگیری استفاده می‌کنند (نورانی آزاد و خداداد کاشی، ۱۳۹۶، صص ۱۷۴ و ۱۷۵). منحنی یادگیری به مزایای ناشی از تجربیات و مهارت‌های جمع‌آوری شده اشاره دارد که این مزایا به شکل هزینه کمتر، کیفیت بالاتر، قیمت گذاری و بازاریابی موثرتر ظاهر می‌شوند.

کشورهای توسعه یافته از طریق یادگیری ضمن تحقیق[6]، به عرضه‌کنندگان اصلی تکنولوژی در بازارهای جهانی تبدیل شده‌اند. کشورهای در حال توسعه نیز عمدتاً کاربران و واردکنندگان اولیه تکنولوژی محسوب می‌شوند و قابلیت‌های تکنولوژیکی خود را

---

[1] Learning by doing
[2] Learning
[3] Wright
[3] Anzanello & Fogliatto
[4] Experience Curve
[6] Learning by Researching

بهبود می‌بخشند. از آنجا که انتقال تکنولوژی جدید به کشورهای در حال توسعه سهم عمده‌ای در بهبود فناوری آن‌ها به خود اختصاص داده است، اما انتقال تکنولوژی تنها منبع یادگیری محسوب نمی‌شود، فلذا این گونه کشورها، نیازمند یادگیری تکنولوژیکی به صورت یک فرآیند طولانی مدت، به‌هم پیوسته و تجمعی هستند. بنابراین اندازه‌گیری میزان یادگیری در صنایع مختلف، به مدیریت سیاست‌های تکنولوژیکی در راستای توسعه‌ی کارای صنایع کمک خواهد کرد. از آنجا که یادگیری در طول زمان متغیر است، افزایش بهره‌وری نیروی کار و بهبود رشد و توسعه اقتصادی در بلند مدت از طریق بهبود و تسریع روند یادگیری، ضرورت توجه به یادگیری تکنولوژیکی پویا را در ساختار صنعتی دو چندان می‌کند. با مطالعه مدل‌های غیر خطی که همه آن‌ها نشان دهنده پویایی کشش و میزان یادگیری در طول زمان هستند، این رویکرد غیر خطی (یا پویا) برای منحنی یادگیری در مطالعات داخلی مورد غفلت واقع شده است.

امروزه ابعاد و شرایط مختلف حاکم بر صنایع تولیدی ایران حاکی از مشکلاتی جدی است. مسائلی همچون، نداشتن استراتژی توسعه صنعتی مشخص، بلاتکلیفی صنایع بزرگ، صنایع بسیار قدیمی با تکنولوژی فرسوده، فقدان صنایع صادراتی برجسته در دنیا و ... که منجر به عدم بهره‌مندی از حداکثر ظرفیت تکنولوژیکی در صنایع کارخانه‌ای ایران شده است. از آنجایی که از ظرفیت تکنولوژیکی به عنوان یک فرآیند در حال پیشرفت یادگیری تعبیر می‌شود، فلذا عدم بهره‌مندی از حداکثر ظرفیت تکنولوژیکی در صنایع کارخانه‌ای ایران، منجر به کاهش پیشرفت یادگیری شده است. با توجه به مطالعات محدودی که در زمینه یادگیری در بین صنایع کارخانه‌ای ایران صورت گرفته و با عنایت به عدم توجه این مطالعات به امر پویایی یادگیری، تحقیق حاضر به بررسی فرم منحنی یادگیری در صنایع منتخب کارخانه‌ای ایران در سطح کدهای دو رقمی ISIC[7] طی دوره زمانی ۱۳۹۴ – ۱۳۷۵ می‌پردازد.

روش تحقیق

پژوهش حاضر به لحاظ هدف، از نوع تحقیقات کاربردی و از لحاظ روش تجزیه و تحلیل از نوع تحقیقات تحلیلی-پژوهشی می‌باشد. مدل استفاده شده در این پژوهش اقتباس شده از مدل‌های مطالعات کاراوز و البنی (۲۰۰۵)، بادیرو[8] (۱۹۹۲) و کارلسون[9] (۱۹۷۳) می باشد که برای برآورد کشش یادگیری فرم مکعبی را پیشنهاد دادند:

$$\ln(L/Q)_t = \phi_1 + B\ln X_t + C(\ln X_t)^2 + D(\ln X_t)^3 + \phi_2 \ln L_t + u_t \qquad (۱)$$

که در آن:

L/Q: ارتباط بین میزان نیروی کار لازم به ازای هر واحد ستاده (هزینه هر واحد ستاده؛ c_t)

X : ستاده محصول (واقعی شده توسط شاخص قیمت تولیدکننده سال ۱۳۹۰ به تفکیک هر فعالیت)؛

X: سطح تولید تجمعی؛

L: میزان نیروی کار شاغل در هر فعالیت صنعتی؛

با توجه به معادله فوق از مشتق مرتبه اول آن کشش یادگیری ($-a$) به شکل زیر به دست می‌آید:

---

7. International Standard Industrial Classification
8. Badiru
9. Carlson

$$-\alpha = \frac{\partial \ln c_t}{\partial \ln X_t} = B + 2C ln X_t + 3D(\ln X_t)^2 \quad (۲)$$

در ادامه در این پژوهش پس از برآورد کشش یادگیری نرخ پیشرفت در هر صنعت از طریق رابطه (۳-۳) محاسبه می‌شود:

$$d = 2^{-a} \quad (۳)$$

مقدار نسبت پیشرفت (d) که برگرفته از کشش یادگیری (رابطه ۳) است، یادگیری را به چهار دسته یادگیری بالا، پایین، عدم وجود یادگیری (یادگیری صفر) و فراموشی تقسیم می‌کند. بدین صورت که پارامتر d همواره بین دو عدد صفر و یک قرار دارد. هر چه مقدار پارامتر d به صفر نزدیک‌تر شود، نشان دهنده افزایش یادگیری است. اگر پارامتر d به عدد یک نزدیک شود، سطح یادگیری پایین را نشان داده و d=1 نشان دهنده آن است که یادگیری صورت نگرفته و d بزرگ‌تر از یک نیز بیانگر کاهش یادگیری یا فراموشی است (کاراوز و آلبانی، ۲۰۰۵، صص ۸۷۰ و ۸۷۱).

استخراج مدل یادگیری پژوهش

در این قسمت مدل اقتصادسنجی ذکر شده در بخش قبل به صورت مبسوط مورد تبیین قرار می‌گیرد. طبق مدل سنتی منحنی یادگیری (تجربه) سطح جاری هزینه هر واحد تولید در ضامن t تابعی از سطح تولید تجمعی(X_t) و هزینه هر واحد تولید اولیه (c_1)، این رابطه به صورت:

$$c_t = c_1 X^{-\alpha} \quad (۴)$$

که در آن ($-\alpha$) بیانگر شاخص یا کشش یادگیری است و نرخ پیشرفت به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود. رابطه (۴) را می‌توان به صورت رابطه (۵) بازنویسی کرد:

$$lnc_t = lnc_1 - \alpha lnX \quad (۵)$$

پرامونگیت و همکاران[10] (۲۰۰ و ۲۰۰۲)، اخیراً نرخ یادگیری تکنولوژیکی، برای صنعت کارخانه‌ای تایلند را برای نیمه اول دهه ۱۹۹۰، با استفاده از منحنی یادگیری سنتی و تابع تولید نئوکلاسیک تخمین زدند. برای تخمین یادگیری، منحنی یادگیری را به تابع تولید نئوکلاسیک اضافه کردند. برای شفاف‌سازی، منحنی یادگیری به بهره‌وری چندعاملی[11] اضافه شد. بنابراین، می‌توان گفت که یادگیری به عنوان جزئی از بهره‌وری فرض شده است. ولی، بدلیل اینکه مدل آن‌ها از رویکرد منحنی یادگیری خطی[12] استفاده می‌کرد، فقط یک نرخ آموزش را برای بازه زمانی خاص، فراهم می‌کرد. این گونه رویکردها در تحلیل، قطعاً از هر تغییر سالانه که ممکن است در سال‌های مختلف اتفاق بیفتد، صرف نظر می‌کنند. برای حل این مشکل، یک مدل مخصوص توسعه داده شد که از مدل منحنی تجربی پویا[13] استفاده می‌کند. این مدل، در رابطه (۱) نمایش داده شده است. این مدل، یک مزیت عمده دارد که می‌تواند هر حرکت و روند سالانه مربوط به آموزش را در طول زمان، تخمین بزند. طبق تابع تولید نئوکلاسیک، در سال t، سطح تولید به صورت Q_t، تابع نیروی کار به صورت L_t و سرمایه فیزیکی به صورت K_t است و به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

---

[10]. Pramongkit et al
[11]. Multi Factor Productivity
[12]. Linear Learning Curve Approach
[13]. Dynamic Experience Curve Model

$$Q_t = A_t K_t^{\alpha} L_t^{\beta} \quad (۶)$$

در ابعاد لگاریتمی می‌تواند به این صورت نوشته شود.

$$lnQ_t = lnA_t + \alpha lnK_t + \beta lnL_t \quad (۷)$$

در اینجا α و β به ترتیب کشش سرمایه و کار هستند. A_t بهره‌وری چندعاملی است و سطح تکنولوژی را در سال مربوطه، نمایش می‌دهد. همچنین، مدل فرض می‌کند که ارتباط عملکردی بین سطح فناوری A_t، و سطح تجمیعی تولید در زمان t که با X_t نمایش داده می‌شود، از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$A_t = HX_t^a \quad (۸)$$

این معادله این اطمینان را می‌دهد که آموزش، به عنوان بخشی از بهره‌وری چندعاملی فرض شده است و جدا است. H مقدار ثابت است و X^a معکوس X^{-a} است که تغییر در رابطه (۴) به دست می‌آید.

$$X^a = \frac{c_1}{c_t} \quad (۹)$$

با استفاده از این رابطه، رابطه (۸) به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$A_t = H\frac{c_1}{c_t} \quad (۱۰)$$

که فرم لگاریتمی آن، به صورت زیر است.

$$lnA_t = \ln H + \ln\left(\frac{c_1}{c_t}\right) \quad (۱۱)$$

این رابطه پیشنهاد می‌دهد که سطح فناوری در زمان t یک تابعی از نسبت c_1 و c_t است. علاوه بر آن، طبق رابطه (۱)، مقدار $\ln\left(\frac{c_1}{c_t}\right)$ بصورت زیر در می‌آید.

$$\ln\left(\frac{c_1}{c_t}\right) = -[BlnX_t + C(lnX_t)^2 + D(lnX_t)^3] \quad (۱۲)$$

اگر مقدار $\ln\left(\frac{c_1}{c_t}\right)$ را در رابطه (۱۱)، با رابطه (۱۲) جایگزین شود:

$$lnA_t = \ln H - BlnX_t - C(lnX_t)^2 - D(lnX_t)^3 \quad (۱۳)$$

رابطه (۱۳) به رابطه (۳-۷) اضافه شده است و رابطه‌ی زیر به دست آمده است:

$$lnQ_t = \ln H - BlnX_t - C(lnX_t)^2 - D(lnX_t)^3 + \alpha lnK_t + \beta lnL_t \quad (۱۴)$$

در رابطه (۱۴)، فرض شده است که رابطه بین سرمایه و کار به صورت زیر است:

$$K_t = \mu L_t^{\lambda} \quad (۱۵)$$

در این رابطه، مقادیر μ و λ ثابت هستند و فرم لگاریتمی این تابع، می‌تواند به رابطه (۳-۱۴) اضافه شود.

$$lnQ_t = \ln H - BlnX_t - C(lnX_t)^2 - D(lnX_t)^3 + \alpha(ln\mu + \lambda lnL_t) + \beta lnL_t \quad (۱۶)$$

پس از اضافه کردن lnL_t به هر دو طرف معادله، رابطه نهایی زیر به دست می‌آید.

$$ln(L/Q)_t = -\ln H - \alpha ln\mu + BlnX_t + C(lnX_t)^2 + D(lnX_t)^3 + (1 - \alpha\lambda - \beta)lnL_t \quad (۱۷)$$

برای نمایش کوتاهتر، فرض شود که $\phi_1 = -(\ln H + \alpha ln\mu)$، $\phi_2 = (1-\beta-\alpha\lambda)lnL_t$ و $lnc_t = ln(L/Q)_t$ که در آن صورت داریم:

$$lnc_t = \phi_1 + BlnX_t + C(lnX_t)^2 + D(lnX_t)^3 + \phi_2 \quad (۱۸)$$

رابطه (۱۸) در واقع همان معادله نهایی است که برای هر زیربخش صنعت توسط روش حداقل مربعات معمولی (OLS) مورد برازش قرار می‌گیرد.

در این پژوهش از روش حداقل مربعات معمولی (OLS)[۱۴] در چارچوب داده‌های تابلویی برای تخمین ضرایب استفاده می‌شود. در روش حداقل مربعات معمولی (OLS) لازم است که توزیع جزء اخلال نرمال باشد و فروض چندگانه قضیه گاوس- مارکف برقرار باشند. مسئله تخمین مدل خطی کلاسیک مستلزم تخمین پارامترهای مجهول $\beta_1,\ldots,\beta_k$ و σ^2 می‌باشد. روش حداقل مربعات معمولی، مقادیر $\beta_1,\beta_2,\ldots,\beta_k$ را بنحوی انتخاب می‌کند که مجموع مربعات خطاها مینیمم شود، یعنی:

$$S(\hat{\beta}) = \sum_{t=1}^{T}\left(Y_t - \beta_1 X_{t1} - \ldots. - \beta_k X_{tk}\right)^2 \quad (۱۹)$$

قضیه گاوس-مارکف[۱۵] نیز می‌گوید تخمین‌زننده OLS بهترین تخمین‌زننده خطی و بدون تورش[۱۶] در میان تخمین‌زننده‌های خطی و بدون تورش است که به آن BLUE[۱۷] گفته می‌شود. بعبارت دقیق‌تر قضیه گوس- مارکف بیان می‌کند که در یک مدل خطی که خطاهای آن امید ریاضی صفر داشته، ناهمبسته بوده، و واریانس‌های مساوی دارند، بهترین برآوردگر خطی ناریب برای ضرایب سیستم برابر برآوردگر کمترین مربعات می‌باشد(گجراتی، ۱۳۹۵؛ سوری، ۱۳۹۰). بنابراین در رگرسیون حداقل مربعات معمولی فرض می‌شود که متغیر وابسته نسبت به ضرایب خطی بوده و همچنین دارای واریانس همسان می‌باشد؛ در حالی که پس از رگرسیون و برآورد ضرورتاً فروض فوق صادق نیستند و بایستی صحت آنها بررسی شود. برخی از آزمون‌های تشخیصی که لازم است بررسی شوند عبارتند از: ۱) آزمون همسانی واریانس، ۲) آزمون خودهمبستگی سریالی و ۳) آزمون نرمال بودن جملات اخلال (گجراتی، ۱۳۹۰: ۵۲۵). در این پژوهش مدل تحقیق در چارچوب داده‌های تابلویی(تلفیقی) مورد بررسی قرار می‌گیرد. استفاده از این الگو مزایای متعددی دارد که می‌توان به افزایش کارایی نتایج تخمین به دلیل استفاده از اطلاعات بیشتر و متنوع‌تر و نیز جامعیت نتایج تحلیل به دلیل توانایی این الگو در آثار داده¬های مقطعی در کنار داده‌های سری زمانی اشاره نمود. لذا نتایج تحلیل از تفسیر صرف داده‌های مقطعی و یا سری زمانی کامل‌تر و جامع‌تر است و در داده‌های سری زمانی همواره با افزایش داده‌ها احتمال بروز هم خطی افزایش می‌یابد همچنین داده‌های مقطعی فقط یک دید ایستا به محقق می‌دهد چرا که امکان بررسی روند متغیر در آن وجود ندارد. در حالی که در الگوهای تابلویی هر دو مشکل به‌خوبی مرتفع می‌شود.

14. Ordinary Least Square
15. Gauss – Markov
16. Bias
17. Best Linear Unbiased Estimator

اثرات ثابت (Fixed Effects) و اثرات تصادفی (Random Effects) دو رویکرد مهم در تحلیل داده‌های تابلویی هستند. اثرات ثابت به تغییرات ثابت در مشاهده‌ها (مثلاً افراد، شرکت‌ها، کشورها) اختصاص دارند و تأثیر تغییرات ثابت بین مشاهده‌ها بر متغیر وابسته را ارزیابی می‌کنند. در مقابل، اثرات تصادفی به تغییرات تصادفی در مشاهده‌ها می‌پردازند و تنوع تصادفی بین مشاهده‌ها را در نظر می‌گیرند. این دو رویکرد در تحلیل داده‌های تابلویی با توجه به فرضیات و هدف تحقیق مورد استفاده قرار می‌گیرند. اثرات ثابت به ما امکان می‌دهند تا تغییرات ثابت در مشاهده‌ها را کنترل کنیم و تأثیر تغییرات در زمان و متغیرهای زمانی را ارزیابی کنیم، در حالی که اثرات تصادفی بر تنوع تصادفی بین مشاهده‌ها تأکید دارند و از اطلاعات زمانی بیشتری بهره می‌برند. انتخاب بین این دو رویکرد به معاملات تحقیقی و فرضیات مطرح شده در تحقیق بستگی دارد (سوری، ۱۳۹۰).

شایان ذکر است که در این پژوهش برای تخمین و برآورد کشش‌های یادگیری از نرم‌افزارهای ایویوز و استاتا نسخه ۱۲ استفاده می‌شود. در این پژوهش جامعه آماری شامل ۶ فعالیت صنعتی براساس کدهای صنعتی ISIC است (کدهای ISIC چهار رقمی است؛ دو رقم اول کد نشانگر صنعتی است که موسسه در آن فعالیت دارد رقم سوم نشانگر گروه صنعتی و رقم چهارم نشانگر عنوان اختصاصی رسته‌ای است که فعالیت در حوزه آن انجام می‌شود)[۱۸]. نوآوری این مطالعه استفاده از سری زمانی طولانی تر و همچنین تمرکز بر صنایعی است که اقتصاد ایران در آنها مزیت نسبی دارد (جدول ۱).

جدول (۱): فعالیت‌های صنعتی تحت بررسی براساس کدهای صنعتی

کد صنعت	عنوان
۲۳	صنایع تولید زغال سنگ- پالایشگاه‌های نفت
۲۴	صنایع محصولات شیمیایی
۲۵	تولید محصولات لاستیکی و پلاستیکی
۲۶	تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی
۲۷	تولید فلزات اساسی
۲۸	تولید محصولات فلزی فابریکی بجز ماشین الات

منبع: مرکز آمار ایران.

[۱۸]. سیستم ISIC یک طبقه‌بندی بر مبنای نوع فعالیت اقتصادی است و نه کالاها و خدمات. فعالیتی که یک بنگاه اقتصادی انجام می‌دهد بر اساس نوع عملیات تولیدی که به آن می‌پردازد مشخص شده و بر همین مبنا این بنگاه با دیگر بنگاه‌ها گروه‌بندی می‌شود. در نوع عملیات، دستی یا مکانیزه بودن آن اهمیت ندارد.

یافته ها

الف) ضرایب همبستگی

جدول (۲) ضرایب همبستگی دوجانبه متغیرهای مدل را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود علامت ضرایب همبستگی مطابق با مبانی نظری بوده و از لحاظ آماری نیز معنادار می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود، بین میزان نیروی کار بکار گرفته شده به منظور تولید یک واحد ستانده یا محصول (به عنوان متغیر وابسته) و متغیرهای تولید تجمعی و نیروی کار رابطه منفی و معنادار وجود دارد. ضرایب همسبتگی فقط درک ابتدایی از چگونگی تغییرات دو متغیر X و Y را نشان می‌دهند و هر چه بیشتر باشد و به ۱+ و ۱- نزدیکتر باشد، می‌توان پیش‌گویی‌های دقیق‌تر را انجام داد. در این پژوهش به منظور مدلسازی همزمان اثر متغیرهای توضیحی بر متغیر وابسته و استخراج کشش یادگیری از داده‌های تابلویی استفاده می‌شود.

جدول (۲): ضرایب همبستگی دوجانبه متغیر وابسته و متغیرهای توضیحی

	lnlq	lnx	lnx2	lnx3	lnl
lnlq	1.0000				
lnx	-0.8718 0.0000	1.0000			
lnx2	-0.8821 0.0000	0.9981 0.0000	1.0000		
lnx3	-0.8892 0.0000	0.9928 0.0000	0.9983 0.0000	1.0000	
lnl	0.1467 0.1098	0.3169 0.0004	0.3067 0.0007	0.2952 0.0011	1.0000

منبع: یافته‌های تحقیق.

تخمین مدل پژوهش

نتایج حاصل از تخمین مدل اقتصادسنجی پژوهش در جدول (۳) نشان داده شده است. با لحاظ اثرات ثابت[۱۹] همانطور که مشاهده می‌شود در ۶ صنعت منتخب منحنی یادگیری از نوع درجه دوم بوده و در مراحل ابتدایی تولید مفهوم یادگیری نیروی کار قابل کاربرد نیست اما با گذشت با افزایش سطح تولید میزان نیروی کار لازم برای هر واحد تولید کاهش می‌یابد. بنابراین افزایش سطح تولید و استفاده از صرفه‌های ناشی از مقیاس در صنایع منتخب باید مورد توجه قرار گیرد.

جدول (۳): نتایج تخمین مدل اقتصادسنجی برای صنایع منتخب با لحاظ اثرات ثابت (متغیر وابسته نیروی کار لازم برای هر واحد تولید)

متغیرها	ضرایب	انحراف معیار	آماره t	ارزش احتمال
Lnx	**0.6496378**	0.1685961	3.85	0.000***
lnx2	**-0.0373732**	0.0045863	-8.15	0.000***
Lnl	**0.5052408**	0.1643746	3.07	0.003***
_cons (جمله ثابت)	**-10.92147**	2.406664	-4.54	0.000***
آزمون‌های تشخیصی مدل	R-sq: Within = 0.9754 , Between = 0.9616 , Overall = 0.9315 F(3,111) = 1465.32, Prob > F= 0.0000			

منبع: یافته‌های تحقیق. *: بیانگر معنی‌داری در سطح یک درصد. **: بیانگر معنی‌داری در سطح پنج درصد. *: بیانگر معنی‌داری در سطح ۱۰ درصد.**

همچنین طبق نتایج جدول (۳) مقادیر ضرایب تعیین (R-sq) به خوبی بالاست و رگرسیون از لحاظ آماری معنادار است. ضریب تعیین نشان می‌دهد که ۹۳ درصد تغییرات متغیر وابسته توسط متغیرهای توضیحی تبیین می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش ارتباط مستقیم با تصمیم‌گیرهایی سیاستی و مدیریت صنعتی دارد. براساس یافته‌های تحقیق در صنایع تولید زغال سنگ- پالایشگاه‌های نفت، صنایع محصولات شیمیایی، تولید محصولات لاستیکی و پلاستیکی، تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی، تولید فلزات اساسی، تولید محصولات فلزی فابریکی بجز ماشین الات باید افزایش سطح تولید و استفاده از صرفه‌های ناشی از مقیاس مورد توجه قرار گیرد و منحنی یادگیری نیروی کار برای اینها از نوع درجه دوم است. علاوه بر این یادگیری نیروی کار می‌تواند باعث کاهش هزینه‌ها در کارخانه‌ها شود به دلیل تأثیر مستقیم آن بر بهره‌وری و عملکرد عمومی کارکنان. زمانی که کارکنان مهارت‌های جدیدی را یاد می‌گیرند یا مهارت‌های قبلی خود را بهبود می‌بخشند، می‌توانند وظایف خود را بهتر و سریع‌تر انجام دهند. این منجر به کاهش زمان تولید، کاهش ضایعات و اشتباهات، افزایش کیفیت محصولات و کاهش نیاز

[۱۹]. برتری اثرات ثابت بر تصادفی در آزمون هاسمن تایید گردید. برای صرفه‌جویی در صفحات مقاله نتایج این آزمون آورده نشد.

به تعمیر و نگهداری می‌شود. همچنین، کارکنان ماهرتر ممکن است بهبودهای مهمی در فرآیندها و فعالیت‌ها پیشنهاد دهند که منجر به بهبود کلی هزینه‌ها و بهره‌وری کلان کارخانه شوند. به علاوه، کارکنان ماهرتر تمایل دارند کمتر اشتباه کنند که این نیز می‌تواند هزینه‌های بازنگری و بازخرید مواد خام را کاهش دهد. به طور خلاصه، یادگیری نیروی کار باعث بهبود عملکرد و کاهش هزینه‌ها در کارخانه می‌شود.

منابع

الف) منابع فارسی

پناهی، غلامحسین، قائدی، یحیی، ضرغامی، سعید و عبدالهی، محمد حسین (۱۳۹۶)، تبیین فلسفهٔ یادگیری با تأکید بر نظریهٔ یادگیری وینچ، پژوهش در نظام‌های آموزشی، دوره ۱۱، شماره ۳۶، صص ۱۸۱-۲۰۸.

پورنگ، شقایق (۱۳۹۷)، اثر یادگیری بر هزینه در بخش سلامت کشور، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور استان تهران، مرکز پیام نور تهران غرب، تهران.

خاکی، غلامرضا (۱۳۹۰). روش تحقیق با رویکردی به پایان نامه نویسی، چاپ هشتم. تهران، بازتاب.

خداداد کاشی، فرهاد، (۱۳۸۶)، صرفه های مقیاس در اقتصاد ایران: مورد بخش صنعت، فصلنامه تحقیقات اقتصادی، شماره ۸۰، صص ۱- ۱۸.

داگلاس، ایوان جی (۱۳۷۲)، اقتصاد مدیریت، ترجمه‌ی جواد پورمقیم، نشر نی، تهران.

دانایی فرد، حسن (۱۳۹۳)، اقتصاد دانش محور و حفظ تمامیت نهادی دانشگاه، پژوهش و برنامه‌ریزی در آموزش عالی، دوره ۱۰، شماره ۳ (۳۳)، صص ۱۶۳-۱۹۳.

راسخی، سعید و حق‌جو، مریم (۱۳۹۴)، آزمون فرضیه یادگیری ضمن صادرات: مطالعه موردی برای صنایع کارخانه‌ای ایران، پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، سال بیست و سوم، شماره ۷۳، صص. ۶۸ – ۵۳.

رضایی، حسین، قبادی، پریسا و نظری، احد (۱۳۹۴)، برآورد نرخ بهره‌وری متغیر نیروی انسانی در پروژه‌های خطی-تکراری با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی و بررسی تاثیر آن در برنامه زمان‌بندی، نشریه علمی-پژوهشی امیرکبیر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دوره چهل و هفت، شماره۱، صص ۷۹-۹۷.

رضایی، خدیجه و پورعبادالهان کویچ، محسن (۱۳۹۴)، برآورد یادگیری ضمن کار و عوامل موثر بر آن در صنایع مواد غذایی و آشامیدنی ایران، اولین همایش ملی اقتصاد صنعتی ایران، دانشگاه تبریز، تبریز.

رنانی، محسن، اربابیان، شیرین و میرزایی، محمد (۱۳۸۹)، رتبه‌بندی رقابت‌پذیری صنایع بر اساس شاخص انعطاف‌پذیری نیروی کار، برنامه-ریزی و بودجه، دوره ۱۵، شماره ۱۱۱، صص ۶۳-۸۸.

سوری، علی (۱۳۹۰)، اقتصاد سنجی: همراه با کاربرد نرم افزار Eviews7، انتشارات فرهنگ‌شناسی، تهران.

صدرایی جواهری، احمد، صادقی همدانی، علی و یزدان پناه، حمیده (۱۳۹۴)، بررسی و تحلیل یادگیری تکنولوژی در صنایع کارخانه‌ای ایران، اولین همایش ملی اقتصاد صنعتی ایران ، دانشگاه تبریز، تبریز.

فیضی‌پور، محمدعلی و حبیبی، مرجان (۱۳۹۷)، بررسی تاثیر سطوح مختلف صنایع‌تکنولوژی در بنگاه‌های جدیدالورود صنایع تولیدی ایران، فصلنامه مدیریت و حسابداری پژوهش‌های اقتصاد صنعتی ایران، دانشگاه پیام‌نور، سال اول، شماره ۱، صص. ۱۹-۳۴.

گجراتی، دامودار (۱۳۹۰)، مبانی اقتصادسنجی(جلد دوم)؛ ترجمه حمید ابریشمی، انتشارات دانشگاه تهران: تهران.
گجراتی، دامودار (۱۹۹۵)، مبانی اقتصادسنجی، ترجمه حمید ابریشمی، انتشارات دانشگاه تهران: تهران.
مرکز آمار ایران، نتایج آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر، سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۷۵.
مگ گایکن، جیمز آر و مویر، آر چارلز (۱۳۷۱)، اقتصاد مدیریت، ترجمه‌ی محمدرضا حمیدی‌زاده، نشر جهاد دانشگاهی (ماجد)، تهران.
ملکان، جاوید (۱۳۹۰)، بررسی اثرات نسبت تمرکز و صرفه‌های ناشی از مقیاس بر سودآوری، فصلنامه روند پژوهش‌های اقتصادی، سال نوزدهم، شماره ۵۸، صص ۹۹-۱۲۵.
نورانی آزاد، سمانه و خداداد کاشی، فرهاد (۱۳۹۶)، شدت یادگیری در بخش صنعت و اثرات آن بر عملکرد صنایع کارخانه‌ای ایران، فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد، سال اول، شماره ۱، صص. ۱۹۶-۱۷۳.

ب) منابع انگلیسی

- Aduba, Joseph Junior (2017), Measurement of total factor productivity and learning-by-doing: An empirical study of japanese manufacturing industries, Master thesis, **Ritsumeikan Asia Pacific University**, Japan.
- Ambrose, S. A., Bridges, M. W., Dipietro, M., Lovett, M. C. & Norman, M. K. (2010). **How Learning Works**. Jossey-Bass, United States of America.
- Anzanello, M. J., & Fogliatto, F. S. (2011). *Learning curve models and applications: Literature and research directions*. **International Journal of Production Economics**, vol. 130, no. 2, pp. 268-276.
- Arrow, K. J. (1962). *The economic implications of learning by doing*. **The Review of Economic Studies**, vol. 29, no.3, pp. 155-173.
- Asgari, B., & Gonzalez-Cortez, J. L. (2012). *Measurement of technological progress through analysis of learning rates; The case of the manufacturing industry in Mexico.* **Ritsumeikan Journal of Asia Pacific Studies**, vol. 31, pp. 101-119.
- Auba, J. J., & Hiroshi, I. (2019). *Industry (economic)-wide learning: A comparative study of manufacturing and non-manufacturing sector in japan*. **Asian Journal of Economics, Business and Accounting**, vol. 9, no. 4, pp. 1-14.
- Badiru, A. B. (1992). **Computational survey of univariate and multivariate learning curve models**. *IEEE transactions on Engineering Management*, *39*(2), 176-188.
- Bahk, B. H., & Gort, M. (1993). *Decomposing learning by doing in new plants.* **Journal of Political Economy**, vol. 101, no. 4, pp. 561-583.
- Besanko, D., …[et al.]. (2013), **Economics of strategy**, Managerial economics, United State of America.
- Biggs, T., Shah, M., Shivastava, P., (1995). *Technological capabilities and learning in African enterprises*. **World Bank Technical Paper**. No. 288, pp. 1-251.
- Carlson, J. G. (1973). **Cubic learning curves-precision tool for labor estimating**. *Manufacturing Engineering & Management*, *71*(5), 22-25.
- Carr, W. (1946). *Parametric cost estimating requires new learning curves*. **Aviation**, vol. 45, pp. 76-77.
- Cavagnini, R, Hewitt, M, Maggioni, F. (2019). *Workforce production planning under uncertain learning rates*, **International Journal of Production Economics**, pp.1-19.
- Clarke, A. (2008). *Learning-by-doing and productivity dynamics in manufacturing industries: Department of economics*, University of Melbourne**. Working paper,** series. 1032, pp. 1-50.
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1989). *Innovation and learning: The two faces of R & D*. **The Economic**

Journal, vol. 99, no. 397, pp. 569-596.
- Deng, S, Guan, X & Xu, J. (2019). *The coopetition effect of learning-by-doing in outsourcing*, **International Journal of Production Research**, pp. 1- 26 .
- Grossse, E.H, Glock, Ch, Muller, S. (2015). *Production economics and the learning curve: A meta-analysis*, **Int. J. Production Economics,** vol. 170, pp. 401-412.
- Hartley, K. (1965). *The Learning Curve and Its Application to the Aircraft Industry*. **Journal of Industrial Economics**. Vol. 13, No. 2, PP. 122-128
- Hirsch, Werner Z. (1952). *Manufacturing Progress Functions.* **The Review of Economics and Statistics.** Vol. 34, No. 2, PP. 143-155.
- Jaber, M.K, Goyal, S.K, Imran, M. (2008). *Economic production quantity model for items with imperfect quality subject to learning effects***, International Journal of Production Economics,** vol. 115, no. 1, pp. 143-150.
- Jakob, M., & Madlener, R. (2004). *Riding down the experience curve for energy-efficient building envelopes: The Swiss case for 1970 – 2020.* **Energy Technology and Policy**. vol. 2, pp. 153-178.
- Kahouli, S. (2011). *Effects of technological learning and Uranium price on nuclear cost: Preliminary insights from a multiple factors learning curve and Uranium market modeling.* **Energy Economics**, vol. 33, no. 5, pp. 840-852.
- Kahouli-Brahmi, S. (2008). *Technological learning in energy – environment – economy modelling: A survey*. **Energy Policy**, vol. 36, no. 1, pp. 138-162.
- Karaoz, M., & Albeni, M. (2005). *Dynamic technological learning trends in Turkish manufacturing industries*. **Technological Forecasting and Social Change**, vol. 72, no. 7, pp. 866-885.
- Marchi, B, Zanoni, S, Jaber, M.Y. (2019). *Economic production quantity model with learning in production, quality, reliability and energy efficiency.* **Computers & Industrial Engineering,** vol. 129, pp.502-511.
- Miller, F. D. (1971). The cubic learning curve – A new way to estimate production costs. **Manufacturing Engineering and Management**, pp. 14-15.
- Nakata, T., Sato, T., Wang, H., Kusunoki, T., & Furubayashi, T. (2011). *Modeling technological learning and its application for clean coal technologies in Japan*. **Applied Energy**, vol. 88, no. 1, pp. 330-336.
- Pramongkit, P., Shawyun, T & Sirinaovakul, B. (2000). *Analysis of technological learning for the Thai manufacturing industry.* **Technovation**, vol. 20, no. 4, pp. 189-195.
- Pramongkit, P., Shawyun, T & Sirinaovakul, B. (2000). *Productivity growth and learning potential of Thai industry.* **Technological forecasting & social change**, vol. 69, no.1, pp. 89-101.
- Raman, A, Varghese, A.(2014). *Study on Labour Productivity by Learning Curve Effect.* **International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER)**, Vol. 4, no, 3, pp. 11-13.
- Romer, David. (2012), **Advance Macroeconomics**, McGraw-Hill Education; 4 edition, New York.
- Rosenberg, N. (1982)**. Inside The Black Box: Technology and Economics**. Cambridge university press, Cambridge.
- Tomas, H.R.(2009), *Construction Learning Curves*. **J. Constr .Eng. manag**,Vol 14, no.1, pp.14-20.
- Wideman, M. (2010). *Applying Resource Loading, Production & Learning Curves to Construction: A Pragmatic Approach.* **Canadian Journal of Civil Engineering,** Vol. 21, pp 939-953.
- Wright, T. P. (1936). *Factors affecting the cost of airplanes*. **Journal of the Aeronautical Sciences Institute of the Aeronautical Sciences**, vol. 3, no. 4, pp. 122-128.
- Ying, Y., Weiwei, W., & Bo, Y. (2009). *Analysis of technological learning for China's manufacturing industry.* **Portland International Conference on Management of Engineering & Technology**, vol. 9, pp. 2618-2622.

Extracting the learning curve of the labor force for selected industrial industries of Iran

Somayeh Samadi Varankesh; samadi.varankesh@gmail.com
Master of Industrial Engineering-Management System and Productivity* (Author)

Ali Asghar Asadi; Eng.aliasghar.asadi@gmail.com
Master of Industrial Engineering-Management System and Productivity

Omid Saedi; omidsy1994@yahoo.com
Economic and Financial Researcher

Abstract

In the industrial economy, the learning curve shows that as the number of production units increases, production costs decrease continuously. In fact, this curve shows that as production increases, the learning rate improves and production costs decrease. In this research, the concept of the learning curve of the labor force in selected industrial industries of Iran during the period of 1996-2015 is investigated. For this purpose, using panel data econometric methods (fixed effects method), the learning curve form of selected industrial sub-sectors of Iran's economy (6 selected activities) was extracted. Based on the estimation results of the econometric model, the quadratic form of the learning curve for the selected industries was confirmed and the learning curve for these industries is U-inverted. Therefore, increasing the level of production and using economies of scale should be considered in these activities.

Key words: experience curve, learning curve, labor force learning, manufacturing industries, panel data