پیش‌بینی هزینه‌های نگهداری و تعمیر ماشین برداشت نیشکر فعال در ایران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

ترحم مصری گندشمین[1]، مهرداد صفرپور[2]، حسین نوید[3]
[1] استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی
[2] فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه تبریز
[2] استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تبریز
(mehrdadesafarpoor@yahoo.com)

چکیده

مدیریت ماشین‌ها و تجهیزات سنگین وظیفه‌ی بسیار دشواری می‌باشد. یک مدیر اغلب باید تصمیم گیری های پیچیده ی اقتصادی در ارتباط با هزینه‌های ماشین‌های کشاورزی اتخاذ کند. این تصمیم‌گیری‌ها عبارتند از: مالکیت ماشین، نگهداری، تعمیرات، جایگزینی و منسوخ شدن ماشین‌ها [Mitchel et al., 1998]. هزینه‌های نگهداری و تعمیرات می تواند اثرات قابل ملاحظه‌ای در تصمیم‌گیری‌های اقتصادی و پیش‌بینی‌ها داشته باشد. هدف از انجام این تحقیق، پیش بینی هزینه های نگهداری و تعمیر ماشین های برداشت نیشکر مورد استفاده در کشت و صنعت دعبل خزاعی خوزستان بود. متغیر مستقل در مدل ریاضی، ساعات کارکرد تجمعی ماشین برداشت نیشکر و متغیر وابسته، هزینه های نگهداری و تعمیرات برحسب درصدی از قیمت خرید اولیه می‌باشد. در این راستا، گزارش‌های سرویس و تعمیرات موجود در دفتر فنی واحد تجهیزات مکانیکی کشت و صنعت، مربوط به 24 دستگاه ماشین برداشت نیشکر HCH 300 HEPCO در یک دوره ده ساله (1380 تا 1389) بررسی گردید. با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، مدل عصبی برای ماشین های برداشت نیشکر بهینه شد و با استفاده از شاخص های آماری ضریب همبستگی (R) و متوسط قدرمطلق درصد خطا (MAPE) مدل به‌دست آمده مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت مدل شبکه عصبی با تعداد 12 نرون در لایه مخفی به‌عنوان بهینه‌ترین مدل انتخاب گردید . مدل عصبی به‌دست آمده با ضریب همبستگی 0/99385 در فاز آزمایش و 0/99516 در فاز آموزش توانست تمام هزینه‌های ماشین‌های برداشت نیشکر مورد مطالعه را با دقت بسیار بالایی تخمین بزند.

کلمات کلیدی: هزینه نگهداری و تعمیرات، شبکه عصبی مصنوعی، متوسط قدر مطلق درصد خطا

مقدمه

موفقیت یک مدیر در گرو تصمیمات اقتصادی و رساندن شرکت به سود بیشتر است . کلید موفقیت در هر حرفه و فعالیت پیش‌بینی است و پیش بینی مبتنی است بر آنالیز سیستم حاکم بر روابط زیرمجموعه های سیستم. در یک سیستم کشاورزی مکانیزه، ماشین یکی از مهمترین اقلام سرمایه ای محسوب می‌شود که مهمترین هزینه مدیریتی آن هزینه های نگهداری و تعمیر می باشد [روحانی، 1388]. مکانیزاسیون کشاورزی در شاخه مدیریت ماشین ها وظیفه ارائه راهکارهایی برای بهبود نحوه ی کارکرد و استفاده صحیح از ماشین ها را بر عهده دارد. مهمترین وظیفه مدیریت ماشین ها کاهش هزینه و بکارگیری مؤثر منابع است . اطلاع دقیق از هزینه ها، نقش اصلی را در بسیاری از تصمیمات مطلوب مدیریت ماشین ها ایفا می نماید [مصری گندشمین و کریمی، 1389]. از آنجائیکه تصمیم گیری جایگزینی به‌عنوان مهم ترین عامل مدیریتی ماشین های مزرعه به اطلاع از هزینه‌های آینده نیازمند است، بنابراین داشتن ابزارهای پیش بینی کننده دقیق ضروری به نظر می‌رسند[Telsang, 2005] . پیش‌بینی هزینه‌های نگهداری

و تعمیرات ماشین ها در واحدهای مکانیزه ی کشاورزی از چند جنبه حائز اهمیت است؛ اول این که ماشین یکی از مهم‌ترین کالاهای سرمایه‌ای در کشاورزی محسوب می شود و سنجش دقیق سودآوری آن با لحاظ کردن اقلام هزینه امکان پذیر است. دوم این که برای تعیین نقطه ی سربه‌سر جهت جایگزینی ماشین کارکرده با ماشین نولازم است که عمر مفید ماشین ها با بررسی روند تغییرات هزینه های مزبور تعیین گردد و سوم این که با این پیش بینی می‌توان علل افزایش نامطلوب این هزینه‌ها را در صورت ایجاد، بررسی و مرتفع نمود [الماسی و یگانه، 1381]. برای داشتن یک مدل استاندارد، پارامترهای مدل باید مستقل از تغییر قیمت ها در اثر تورم و طراحی ماشین باشد . مطالعاتی که در این زمینه انجام شده نشان می‌دهد که بهترین واحد در این زمینه، روند و شیب تغییرات هزینه - های نگهداری و تعمیرات بر حسب ساعات استفاده از ماشین می باشد. [Wahby and AL-Suhaibani, 1995]. در سال های اخیر پیشرفت قابل توجه ای در عرصه کامپیوتر و نرم افزار صورت گرفته است که یکی از مناسب ترین روش‌ها، شبکه عصبی مصنوعی می باشد. یکی از کاربردهای شبکه های عصبی همانند رگرسیون تقریب توابع چند متغیره و یافتن ارتباط میان متغیرهای مستقل و وابسته می باشد. با این تفاوت که شبکه های عصبی در مقایسه با روش‌های آماری پارامتریک هیچ پیش فرضی در مورد توزیع داده ها ندارند و از این نظر نسبت به تبیین متغیرهای وابسته از مزیت نسبی نسبت به روش های آماری برخوردار می باشند [مصری گندشمین و کریمی، 1389]. شبکه عصبی مصنوعی به دلیل داشتن ویژگی های خاص مانند یادگیری مستقیم از روی مثال های واقعی، بی نیازی به برآوردهای آماری داده های اولیه و از همه مهمتر برای این زمینه خاص تعیین روابط غیرخطی با مرتبه بالا بین متغیرهای موجود [وکیل باغمیشه، 2002] می‌تواند به عنوان یک جایگزین برای روش رگرسیون در پیش بینی هزینه‌ها باشد. هدف از این پژوهش انتخاب بهترین مدل پیش بینی هزینه های نگهداری و تعمیرات ماشین های برداشت نیشکر فعال در کشت و صنعت دعبل خزاعی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی می باشد.

مواد و روشها

اطلاعات مورد نیاز در انجام این مطالعه شامل هزینه لوازم یدکی، دستمزد تعمیراتی، هزینه روغن و هزینه سوخت مصرفی برای ماشین های برداشت نیشکر فعال در شرکت کشت و صنعت دعبل خزاعی خوزستان طی یک دوره زمانی ده ساله (1380تا 1389) جمع‌آوری شده است . این کشت و صنعت دارای تعداد 24 دستگاه ماشین برداشت نیشکر می باشد که هر یک از این ماشین ها دارای یک کد اختصاصی می باشند که بر طبق آن، پرونده ای جهت ثبت هزینه های نگهداری و تعمیرات وجود دارد که به شیوه‌ی جالبی در دفتر واحد فنی تجهیزات مکانیکی شرکت ثبت شده و قابل دسترسی و مطالعه می باشند. این گزارش ها، در دو گروه گزارش سرویس و گزارش تعمیرات تنظیم شده که دارای اطلاعات کاملی نظیر تاریخ انجام سرویس های تعویض روغن موتور، تعویض روغن گیربکس، تعویض روغن هیدرولیک، گریس کاری‌ها و همچنین تاریخ انجام تعمیرات، نوع تعمیر انجام شده، روغن و قطعات مصرفی و زمان ورود و خروج ماشین برداشت نیشکر از تعمیرگاه می باشد.برای محاسبه ساعات کارکرد سالیانه ماشین هرچند ساعات کارکر د ماشین‌های برداشت نیشکر در بعضی دوره ها ثبت شده است اما از آن جا که در این سال ها استمراری در ثبت داده ها وجود نداشته است از این رو بهترین روش جهت محاسبه ساعات کارکرد ماشین برداشت نیشکر از طریق داده های موجود برای روغن موتور مصرفی است. در واحد تجهیزات مکانیکی کشت و صنعت تعویض روغن برای ماشین های برداشت نیشکر در فواصل 80 ساعته صورت می گیرد. بنابراین هر بار تعویض روغن موتور معادل 80 ساعت کار ماشین برداشت نیشکر در نظر گرفته شد . و از آنجا که حجم مخزن روغن 42 لیتر می‌باشد، مقدار روغن مصرفی در یک سال را بر حجم م خزن روغن موتور تقسیم نموده و آنگاه با

ضرب کردن عدد به‌دست آمده در 80، تعداد ساعات کارکرد سالیانه هر ماشین با دقت قابل قبولی تخمین زده شد. برای تعیین بهترین مدل ریاضی جهت پیش بینی هزینه های نگهداری و تعمیر ماشین برداشت نیشکر، ساعات کارکرد تجمعی برای هر سال با جمع کردن ساعات کارکرد هر سال با سال قبل به دست آمد و به عنوان متغیر مستقل (ورودی سیستم) در نظر گرفته شد. هزینه‌ی نگهداری و تعمیرات که برابر با مجموع هزینه های تعمیرات، هزینه‌ی روغن و هزینه ی سوخت می باشد، برای هریک از ماشین های برداشت نیشکر و برای هر سا ل محاسبه گردید، سپس هزینه‌ی نگهداری و تعمیر تجمعی به صورت درصدی از قیمت اولیه با جمع کردن هزینه ی نگهداری و تعمیر هر سال با سال قبل و تقسیم آن به قیمت اولیه محاسبه و به عنوان متغیر وابسته (خروجی سیستم) در نظر گرفته شد. برای حذف اثر تورم، تمام هزینه‌ها بر حسب سال پایه یعنی 1389تبدیل گردید.

پردازش داده‌ها:از تعداد کل داده های موجود شاخص هزینه های نگهداری و تعمیر ماشین های برداشت نیشکر در محدوده‌ی ساعات کارکرد تجمعی مورد مطالعه، 70 درصد داده‌ها (168 داده) برای فاز آموزش شبکه و 30 درصد داده‌ها (72 داده) نیز برای فاز آزمایش شبکه استفاده گردید. چنانچه این تقسیم‌بندی منجر به نتایج مطلوبی نگردد می‌توان این مرحله را تکرار نمود [Zhang and Fuh, 1998] . یکی از مهمترین شاخص های مدل‌سازی بهینه شبکه عصبی جلوگیری از بیش آموزش[1] شبکه است [منهاج، 1381]. برای این منظور در فاز آ موزش و بعد از تصحیح وزن ها، تعدادی از داده های فاز آزمایش را که شبکه یاد نگرفته است به شبکه اعمال و خطای متوسط مجذور مربعات شبکه برآورد گردید . قبل از به کارگیری داده های خام اولیه، آن ها باید نرمال گردند، زیرا الگوریتم یادگیری همراه با داده های خام نمی تواند عملکرد مناسبی داشته باشد و در غیر این صورت شبکه در طول فاز آموزش همگرا نخواهد شد و نتایج مطلوب حاصل نمی گردد.

به منظور بهبود الگوریتم یادگیری از نرمالیزاسیون خطی برای تبدیل داده ها استفاده شد (مصری گندشمین، 1388).

$$t_s = \frac{t_u - t_{u,min}}{t_{u,max} - t_{u,min}} \left(t_{s,max} - t_{s,min}\right) + t_{s,min} \quad (1)$$

در اینجا t_sداده‌های نرمال شده، t_uداده‌های خام اولیه، $t_{u,min}$مقدار کمینه داده‌های اولیه، $t_{u,max}$مقدار بیشینه داده-های اولیه، $t_{s,min}$حد پایینی دامنه تغییرات داده های تبدیل شده و $t_{s,max}$حد پایینی و حد بالایی دامنه تغییرات داده‌های تبدیل شده می‌باشند.

معیار ارزیابی عملکرد شبکه : برای ارزیابی توانمندی شبکه در پیش بینی هزینه های نگهداری و تعمیر ماشین های برداشت نیشکر از معیارهای ضریب همبستگی خطی بین داده های واقعی و داده های پیش‌بینی شده توسط شبکه (R)، متوسط قدرمطلق درصد خطا [2] (MAPE)، ریشه متوسط مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین معادله خطی رگرسیونی (R^2) استفاده شد.

$$R = \sqrt{\frac{\left(\sum_{j=1}^{n}(d_j - \bar{d})(p_j - \bar{p})\right)^2}{\sum_{j=1}^{n}(d_j - \bar{d})^2 \times \sum_{j=1}^{n}(p_j - \bar{p})^2}} \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{1}{nm}\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}\left|\frac{d_{ji} - p_{ji}}{d_{ji}}\right| \times 100 \quad (3)$$

[1]Overfitting
[2]Mean Absolute Percentage Error

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}(d_{ji}-p_{ji})^2}{nm}} \quad (4)$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{j=1}^{n}(d_j-\bar{d})(p_j-\bar{p}))^2}{\sum_{j=1}^{n}(d_j-\bar{d})^2 . \sum_{j=1}^{n}(p_j-\bar{p})^2} \quad (5)$$

که دراینجا d_{ji} : مؤلفه i ام از خروجی واقعی مربوط به الگوی j ام، p_{ji} : مؤلفه i ام از خروجی پیش‌بینی شده توسط شبکه مربوط به الگوی j ام، $\bar{d}$ و $\bar{p}$: به‌ترتیب متوسط خروجی های واقعی و پیش بینی شده توسط شبکه n و m : به‌ترتیب تعداد الگوها و تعداد متغیرهای خروجی می‌باشند [مصری گندشمین، 1388].

تعیین مدل شبکه عصبی : در این مطالعه، از رایج ترین شبکه عصبی به نام شبکه پرسپترون چندلایه [3] استفاده شد. بیشترین کاربرد شبکه پرسپترون در تقریب توابع است. در این سیستم متغیرهای مستقل یا توضیحی به عنوان ورودی شبکه و متغیرهای وابسته به عنوان خروجی شبکه مدل می شود. برای یادگیری شبکه از الگوریتم یادگیری پس‌انتشار خطا[4] استفاده شد [Gupta et al., 2003].

توپولوژی شبکه: توپولوژی شبکه عصبی ناظر بر تعداد لایه‌های نهان، تعداد نرون ها در لایه ورودی، تعداد نرون ها در لایه نهان، تعداد نرون ها در لایه خروجی، ترتیب فعال سازی نرون ها و جریان داده از نقطه ی ورود به خروجی شبکه است. تعداد نرون ها در لایه ورودی و لایه خروجی به تعداد متغیرهای ورودی و خروجی مو رد نظر بستگی دارد [صفرپور، 1390].

نتایج و بحث

تنظیم پارامترهای شبکه: بر اساس قضیه تقریب عمومی، شبکه عصبی با یک لایه مخفی و با تعداد کافی نرون در آن لایه قادر به تقریب هر تابع پیوسته دلخواه می باشد [روحانی، 1388] به همین دلیل یک لایه نهان برای شبکه عصبی انتخاب شد. از آنجائی که ورودی شبکه شامل عامل مدت زمان مورد مطالعه و ساعات کارکرد تجمعی و خروجی شبکه شامل هزینه های نگهداری و تعمیرات تجمعی بر حسب قیمت اولیه می باشد، لایه ورودی و لایه خروجی به ترتیب شامل 2 و 1 نرون می‌باشد زیرا ورودی شبکه شامل عامل زمان (در این مطالعه مدت ده سال به عنوان زمان در نظر گرفته شد) و ساعات کارکرد تجمعی و خروجی شبکه هزینه نگهداری و تعمیر تجمعی بر حسب قیمت اولیه خرید می باشد. برای تعیین تعداد بهینه ی نرون در لایه نهان از روش آزمون و خطا استفاده گردید، این فرآیند برای تعداد نرون های لایه نهان 2 تا 15 انجام پذیرفت. در نهایت مشاهده گردید مدل شبکه عصبی با تعداد 12 نرون در لایه نهان، دارای کمترین متوسط قدر مطلق درصد خطا در فاز آزمایش و فاز آموزش می‌باشد. همچنین ضریب همبستگی خطی بین داده های واقعی و داده های پیش‌بینی شده توسط شبکه در این تعداد نرون به نسبت بالا می باشد. به‌همین دلیل شبکه عصبی با تعداد 12 نرون در لایه نهان به عنوان بهینه ترین مدل انتخاب گردید (جداول 1 و 2).

[3] Multi Layer Perceptron
[4] Basic Backpropagation (BBP)

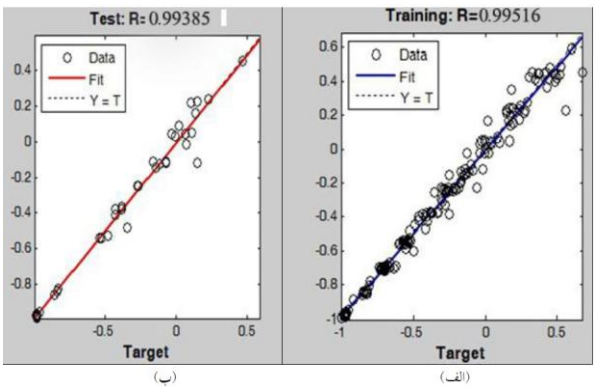
جدول 1- تغییرات عملکرد شبکه عصبی MLP برای پیش‌بینی هزینه‌های نگهداری و تعمیر ماشین برداشت نیشکر در ارتباط با تعداد نرون‌های لایه نهان در فاز آزمایش

معیار	تعداد نرون در لایه مخفی													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
MAPE	1598.4	5.8757	4.9564	5.9490	3.7932	4.8720	4.9071	3.8210	4.8510	4.7179	3.6747	4.6292	3.9781	4.7595
RMSE	0.3074	0.4985	0.5376	0.5834	0.7122	0/4721	0.8025	0/4751	0.7496	0.8709	0.4026	0.5801	0.4930	0.5403
R	0.99723	0.99228	0.99102	0.98996	0.98724	0/99398	0.98495	0.99298	0.98467	0.97633	0.99385	0.99311	0.99472	0.99589
R^2	0.9945	0.9846	0.9821	0.9800	9746.0	9880/0	0.9701	0.9860	0.9696	0.9532	0.9877	0.9863	0.9895	0.9918

جدول 2-تغییرات عملکرد شبکه عصبی MLP برای پیش‌بینی هزینه‌های نگهداری و تعمیر ماشین برداشت نیشکر در ارتباط با تعداد نرون‌های لایه نهان در فاز آموزش

معیار	تعداد نرون در لایه مخفی													
	2	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
MAPE	4.7988	5.1699	4.1266	4.2065	4.2442	3.9766	4.0162	4.5242	5.3077	4.2084	3.7837	4.2125	4.3349	3.9899
RMSE	0.5532	0.5906	0.5152	0.5480	0.4433	0.5265	0.4836	0.4785	0.5079	0.4590	0.4385	0.5820	0.4716	0.5573
R	0.99038	0.99065	0.99205	0.99097	0.99434	0.99165	0.99242	0.99309	0.9930	0.99444	0.99516	0.98982	0.99388	0.99113
R^2	0.9808	0.9814	0.9842	0.9820	0.9887	0.9834	0.9849	0.9862	0.9860	0.9889	0.9903	0.9798	0.9878	0.9823

با توجه به نتایج به دست آمده، ضریب همبستگی تخمینی مدل شبکه عصبی و داده های واقعی هزینه نگهداری و تعمیرات در فاز آزمایش برابر با 0/99385 و در فاز آموزش برابر با 0/99516 برآورد گردید (شکل 1).



شکل1- ضریب همبستگی بین داده‌های واقعی و داده‌های تخمین زده شده توسط شبکه عصبی برای الف-مجموعه آموزش داده شده و ب- مجموعه تست شده

مشخصات شبکه عصبی بهینه و شاخص های آماری حاصل در این مطالعه در جدول 3 آورده شده است.

جدول 3 مشخصات شبکه عصبی بهینه و شاخص‌های آماری تست شده

شاخص هزینه نگهداری و تعمیر	ساختار شبکه	تعداد اپوک	R_c	$RMSE_c$	R_P	$RMSE_P$
ماشین برداشت نیشکر	2-12-1	1000	0/99516	0/4385	0/99385	0/4026

RMSEc وRc : به ترتیب ریشه‌ی متوسط مربعات خطا و ضریب همبستگی برای داده‌های فاز آموزش

RMSEp و Rp: به ترتیب ریشه‌ی متوسط مربعات خطا و ضریب همبستگی برای داده‌های فاز آزمایش

منابع

الماسی، م. و ح. یگانه، (1381)، تعیین مدل ریاضی مناسب برای پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری تراکتورهای کشاورزی مورد استفاده در کشت و صنعت نیشکر کارون، مجله علوم کشاورزی ایران، 33(4) صفحات 707-716

روحانی ع، (1388)، تحلیل هزینه‌های تعمیر و نگهداری و عمر اقتصادی تراکتور با استفاده از تکنیک رگرسیون، شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک، رساله دکترای تخصصی گروه مهندسی کشاورزی، دانشگاه تبریز

صفرپور م، ح نوید و ت مصری گندشمین، (1390)، مدلسازی هزینه ماشین‌های برداشت نیشکر در شرکت کشت و صنعت دعبل خزاعی با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تبریز

مصری گندشمین ت، (1388)، بهینه‌سازی افت کمباین با استفاده از سیستم‌های هوشمند، رساله دکترای تخصصی گروه مهندسی کشاورزی، دانشگاه تبریز

مصری‌گندشمین ت و ش کریمی، (1389)، پیش‌بینی هزینه‌های نت تراکتورهای فعال در شرکت‌های خصوصی مکانیزاسیون استان آذربایجان غربی به روش هوشمند، ششمین کنفرانس نگهداری و تعمیرات ایران

منهاج م ب، (1381)، مبانی شبکه‌های عصبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ دوم

Gupta M M, L Jin and N Homma, (2003), Static and Dynamic Neural Networks: From Fundamentals, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NewJersey, 751p

Mitchell, Z.W, (1998), A Statistical analaysis of Construction Equipment Repair Costs Using Field data & The Cumulative Cost model, PhD Thesis, Faculty of TheVirgina Polytechnic Institute and State University

Telsang, M, (2005), Production management.S.chand& Company LTD, India, 476p

Vakil-Baghmisheh, M.T, (2002), Farsi Character Recognition Using Artificial Neural Networks, PhD Thesis, Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana.

Wahby, M. F and S.A. AL-Suhaibani, (1995), Multi Linear models for Repair and Maintenance Costs for Combines in Saudi Arabia, Bulletin of Faculty of Agriculture.University of Cairo, 46(3): 379-390

Zhang, Y.F., and Fuh, J.Y.H, (1998), A neural network approach for early cost estimation of packagingproducts, ComputInd Eng, 34: 433-50