



ارزیابی انرژی هدررفت ماشین‌های برون‌جاده‌ای با استفاده از ماشین‌بردار پشتیبان و انفیس ادغام شده با الگوریتم رقابت استعماری

حمید تقوی فرا^{۱*} و عارف مردانی^۲

۱ و ۲ - به ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه ارومیه

ایمیل مکاتبه کننده: hamid.taghavifar@gmail.com

چکیده

کشش خالص تولید شده توسط یک تایلر محرکه عنوان اصلی ترین شاخص ماشین از دیدگاه عملکرد بهینه آن می باشد. با این وجود نیروی مورد نیاز برای غلبه بر مقاومت غلته‌ی مهم‌ترین فاکتور هدررفت انرژی ماشین در سطح تماس چرخ و خاک می باشد. بدین منظور، ۵ سطح از بار روی چرخ (۰،۵، ۱، ۱،۵ و ۲ کیلونیوتن) و نیز حالت بدون بار اعمالی روی چرخ و ۵ سطح از فشار باد تایلر (۷۰، ۱۰۰، ۱۴۰، ۱۷۵ و ۲۱۰ کیلوپاسکال) با دو سطح از تکرار درون یک انباره خاک با استفاده از یک آزمونگر تک چرخ مورد استفاده قرار گرفتند. نیروی مقاومت غلته‌ی در چنین شرایط توسط بارسنج‌های نصب شده درون سیستم مورد سنجش قرار گرفت. برای مدل‌سازی انرژی هدررفته از روش ماشین‌بردار پشتیبان و انفیس ادغام شده با الگوریتم رقابت استعماری استفاده گردید و برای ارزیابی سیستم توسعه یافته از میانگین خطای نسبی (AARE) و خطای میانگین مربعات (MSE)، میانگین خطای نسبی (MRE) و ضریب تبیین (R^2) بهره گرفته شد. نتایج نشان دادند که انفیس ادغام شده با الگوریتم رقابت استعماری نسبت به روش‌های دیگر عملکرد بهتری در پیش‌بینی انرژی هدررفت ماشین‌های برون‌جاده دارد.

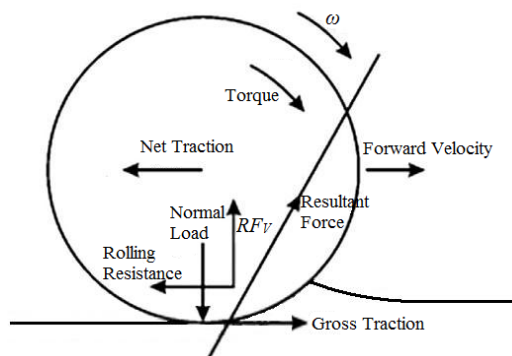
واژه‌های کلیدی: انرژی هدررفت، انفیس، الگوریتم رقابت استعماری، ماشین‌بردار پشتیبان، انباره خاک

مقدمه

به صورت بسیار مشهودی، بهره‌وری انرژی به واسطه محدودیت و رو به پایان بودن منابع سوخت فسیلی و تغییرات ژئوپولیتیک تولید کنندگان عمده نفت خام یک چالش جهانی به حساب می آید. ماشین‌های چرخدار، به عنوان منبع اساسی مصرف سوخت، به تحلیلی کمی و کیفی از منظر جریان هدررفت انرژی وابسته است. در طی حرکت ماشین، انرژی از طریق مقاومت غلته‌ی، ترمزی و مقاومت آیرودینامیک به هدر می رود. اگرچه ماشین‌های جاده‌ای در این خصوص در کانون توجه قرار می گیرند، اطلاعات کمتری در خصوص ماشین‌های برون‌جاده‌ای به واسطه وزن قابل توجه، شرایط عملکردی سنگین



و نحوه اندرکنش چرخ و خاک در دسترس می‌باشد. در مکانیک ماشین‌های برون جاده ای، مقاومت غلتشی به عنوان مقدار خاک تغییر شکل یافته زیر چرخ و تغییر فرم سیکلی تاثیر تعریف می‌گردد. در مقام مقایسه ای، مقاومت غلتشی نسبت به نیروی ترمزی و کشش آیرودینامیک سهم عمده‌تری از انرژی هدررفته را به خود اختصاص می‌دهد. نیروهای موثر بر یک چرخ محرک به صورت شماتیک در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. بر این اساس نیروی کشش کل برابر مجموع کشش خالص و مقاومت غلتشی می‌باشد.



شکل ۱- نیروهای موثر بر یک چرخ محرک

بکر (۱۹۶۰) مقاومت غلتشی را با در نظر گرفتن مقاومت مکانیکی خاک محاسبه کرد و گزارش نمود که در قطاع تماس، چرخ مانند یک صفحه با نفوذ پیوسته عمل می‌کند.

$$P = \left(\frac{k_c}{b} + k_\phi \right) Z^n \quad (1)$$

که در آن Z نشست پروفیل خاک، b عرض صفحه و k_c و k_ϕ ضرایب نشست خاک می‌باشند. از این رو، کار مورد نیاز برای نفوذ یک صفحه درون خاک را به شکل زیر تعریف می‌کنیم.

$$W = bl \int_0^z P dz \quad (2)$$

که در آن l طول تماس تایر با زمین بوده و b عرض تماس می‌باشد. با جایگذاری رابطه ۱ در ۲ خواهیم داشت:

$$W = bl \left(\frac{k_c}{b} + k_\phi \right) \int_0^z z^n dz = l \frac{(k_c + bk_\phi)}{n+1} z_0^{n+1} \quad (3)$$

برای بار نرمال N روی صفحه در بیشینه نشست Z_0 خواهیم داشت:



$$N = blP_{\max}$$

(۴)

و با جایگذاری رابطه ۱ در ۴:

$$N = bl\left(\frac{k_c}{b} + k_\phi\right)z_0^n$$

(۵)

در نتیجه:

$$z_0 = \left[\frac{N}{l(k_c + bk_\phi)} \right]^{\frac{1}{n}}$$

(۶)

با قرار دادن رابطه ۶ در رابطه ۳، کار مورد نیاز برای تغییر شکل پروفیل خاک از طریق رابطه زیر حاصل می‌گردد.

$$W = \frac{l(k_c + bk_\phi)}{n+1} \left[\frac{N}{l(k_c + bk_\phi)} \right]^{\frac{n+1}{n}}$$

(۷)

که برابر است با حاصلضرب مقاومت غلتشی در طول تماس

$$W = Rl = \frac{l(k_c + bk_\phi)}{n+1} \left[\frac{N}{l(k_c + bk_\phi)} \right]^{\frac{n+1}{n}}$$

(۸)

با این وجود، این محاسبات توصیفی ساده از انرژی هدر رفت به واسطه مقاومت غلتشی ایجاد می‌کند زیرا خوابیدگی تایلر باید در شرایط دینامیکی و در حال حرکت در نظر گرفته شود.

هوش مصنوعی در مدلسازی

روش‌های هوش مصنوعی راه‌حلی برای مسائل پیچیده غیرخطی از طریق پیدا کردن رابطه بین پارامترهای ورودی و خروجی ارائه می‌دهد. اخیراً هوش مصنوعی یک روش کاربردی و مفید برای مدلسازی در حوزه‌های مختلف علوم پایه و مهندسی از جمله برای بررسی تقابل چرخ و خاک می‌باشد (taghavi far et al, 2013). حالت خاصی از هوش مصنوعی، روش ادغام دو تکنیک کلاسیک شبکه عصبی و سیستم استنتاج فازی می‌باشد که به سیستم تطابق پذیر فازی-عصبی (انفیس) مشهور می‌باشد. روش انفیس از ترکیب تکنیک گرادیان کاهش و روش حداقل مربعات برای تعیین توزیع بهینه تابع عضویت و پارامترهای قوانین استفاده می‌کند (molaii, 2013). الگوریتم‌های کاوشی و فراکاوشی بر پایه ازدحام ذرات روش



هایی قوی برای حل مسائل پیچیده موجود در جهان واقعی می باشند (molaii, 2013).. در پیشینه تحقیقات روش های مطالعات گوناگونی برای بکارگیری روش انفیس با استفاده از ابزارهای گوناگون بهینه سازی مانند الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات وجود دارند (cheng, yuan et al, 2012 hu et al, 2009 ، pushino et al, 2011 ، zhyang et al 2012 ,pushino et al 2012).

الگوریتم رقابت استعماری برای اولین بار توسط آتشپز (gargary et al, 2007) بر اساس دگرگونی فعالیت های سیاسی- اجتماعی معرفی گردید. این الگوریتم مشابه هر الگوریتم بهینه سازی، از یک جمعیت (کشور) اولیه تصادفی شروع به کار می نماید. هر نماینده برای یک امپراطوری شامل یک کشور می باشد به نحوی که این کشورها به مستعمره و استعمارگر تقسیم می شوند. رقابت های استعماری بین امپراطوری ها در می گیرد که در طی آن امپراطوری های ضعیف از بین می روند و امپراطوری های قوی کنترل مستعمره های ضعیف را به عهده می گیرند و این سیکل تا یافتن قوی ترین امپریالیست ادامه می یابد.

در حوزه یادگیری ماشین، ماشین های بردار پشتیبان برای تحلیل داده و انجام تشخیص الگو در کلاس بندی و تحلیل رگرسیون کاربرد دارند (cortes et al, 1995). رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) توسط یک سائز حاشیه و با توجه به توابع مختلف تعریف می گردد و نتایج بهتری نسبت به شبکه عصبی ارائه می دهند (Al-Anazi et al, 2010). در حالت کلی، SVR محدوده خطا را برای رسیدن به یک مدل جامع به همراه کنترل پیچیدگی دسته توابع تخمینی مینیمم می نماید. در نتیجه، SVR دارای توانایی بالا در حل توابع غیرخطی را با حفظ عملکرد پیش بینی مورد قبول دارا می باشد.

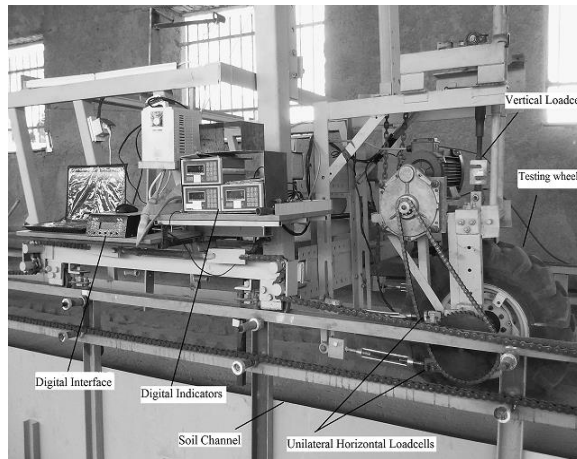
مرور منابع نشان می دهد که تحلیل هدر رفت انرژی ماشین های برون جاده ای در محل قطاع تماس با استفاده از یک انباره خاک و آزمونگر تک چرخ با در نظر گرفتن مشخصات هندسی سطح تماس انجام نگرفته است. برای مدلسازی سیستم مورد بررسی از ماشین بردار پشتیبان و انفیس ادغام شده با الگوریتم رقابت استعماری استفاده گردیده است.

داده برداری

تمامی آزمایشات درون یک انباره خاک با ابعاد ۲۳ متر طول، ۲ متر عرض و ۱ متر عمق با استفاده از یک آزمونگر تک چرخ سوار شده بر روی حامل انجام گرفت (mardani et al, 2010). یک الکتروموتور سه فاز ۲۲ کیلو وات برای حرکت دادن حامل چرخ با استفاده از یک سیستم زنجیری به کار گرفته شد. یک لودسل مدل بونگ شین (Bongshin) با ظرفیت ۲۰۰۰ کیلوگرم و فرکانس ۵۰ هرتز بین یک پیچ قدرت و آزمونگر به صورت عمودی نصب گردید تا بار روی چرخ با چرخاندن پیچ قدرت تنظیم گردیده و بار دینامیکی با دقت یک صدم کیلوگرم نیز قابل سنجش گردد. چهار لودسل دیگر با ظرفیت ۲۰۰ کیلوگرم کالیبره گردید و بین حامل چرخ و آزمونگر به صورت افقی نصب گردیدند تا نیروی مقاومت غلشی اندازه گرفته شود. هر یک از این لودسل ها به یک نمایشگر دیجیتال متصل گردیدند و سپس از طریق درگاه RS232 به سیستم داده برداری وصل شدند. مجموعه بیان شده در شکل ۲ نشان داده شده است. انباره خاک توسط بافت رسی لومی پر گردید. دستگاه های تسطیح



سازی و غلتک برای آماده سازی بستر خاک استفاده شدند. مشخصات بافت و ویژگی های فیزیکی آن در جدول ۱ آورده شده اند.



شکل ۲- مجموعه انباره خاک و سیستم داده برداری

جدول ۱- مشخصات خاک مورد استفاده

مورد	مقدار
شن (%)	۳۴/۳
سیلت (%)	۲۲/۲
رس (%)	۳۴/۵
چگالی حجمی (kg/m^3)	۲۳۶۰
زاویه اصطکاک داخلی ($^\circ$)	۳۲
شاخص مخروطی (kPa)	۷۰۰

آزمایشات در قالب طرح بلوک های تصادفی با دو تکرار و در نظر گرفتن ۴ سطح از بار روی چرخ (۰,۵، ۱، ۱,۵ و ۲ کیلونیوتن) و نیز حالت بدون بار اعمالی روی چرخ و ۵ سطح از فشار باد تایر (۷۰، ۱۰۰، ۱۴۰، ۱۷۵ و ۲۱۰ کیلوپاسکال) درون یک انباره خاک با استفاده از یک آزمونگر تک چرخ انجام شدند. پس از اندازه گیری مقاومت غلتشی و طول تماس برای هر تیمار، مقدار هدر رفت انرژی تحت ترکیب های مختلف مورد آزمایش محاسبه گردید و برای مدلسازی به عنوان داده های خام به نرم افزارها تحویل داده شدند.

سیستم تطابق پذیر فازی-عصبی (انفیس)

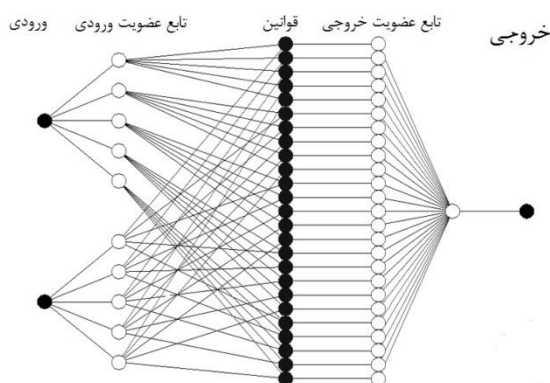
سیستم تطابق پذیر فازی-عصبی (انفیس) بصورت سیستماتیک توسط (takagi & sogno 1985) تئوری سازی شد و توسط (zheng,1993) توسعه یافت که با ترکیب منطق فازی و شبکه عصبی برای یافتن رابطه بین پارامترهای ورودی و خروجی عمل



می نماید. نورون‌های موجود در انفیس مسئول تنظیم توابع عضویت برای کاهش خطای مدل می باشند. چنین سیستمی دارای عملکرد مناسب به هنگام ادغام با روش‌های جستجوی بهینه‌سازی می باشد. علاوه بر این، این تکنیک نسبت به روش منطق فازی از توابع عضویت کمتر استفاده می کند و نتایج بهتری حاصل می سازد. نتیجه این روش عموماً یا صفر و یا یک تابع چند جمله‌ای درجه اول می باشد که این سیستم و خروجی آن به شکل معادله ۹ قابل تعریف می باشد.

$$\left. \begin{array}{l} \text{اگر} \\ x = A \text{ و } y = B \\ \text{سپس} \\ f = px + qy + r \end{array} \right\} \quad (9)$$

که در آن x و y متغیر و A و B مجموعه‌های فازی هستند و f یک تابع چند جمله‌ای درجه ۱ می باشند. ساختار انفیس با دو ورودی، پنج تابع عضویت برای هر ورودی و بیست و پنج قانون در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- ساختار انفیس مورد استفاده

انفیس از روش گرادیان کاهش برای تعیین مشخصه‌های بهینه برای تنظیم تابع عضویت در سیستم استفاده می کند. گرادیان کاهش دارای این عیب می باشد که وابسته به مقادیر اولیه پارامترهای سیستم می باشد (molaii,2013). با این وجود، این نقیصه را می توان توسط به کارگیری روش‌های بهینه‌سازی مناسب برطرف نمود.

الگوریتم رقابت استعماری

مسئله بهینه‌سازی برای یافتن X به همراه تابع هزینه $\text{cost } f(x)$ با استفاده از روش‌های کاوشی و فراکاوشی تعریف می گردد. هدف از بهینه‌سازی رسیدن به مقدار بهینه برای ورودی‌ها می باشد. یک آرایه مشابه ذره در PSO در روش رقابت استعماری (ICA) تعریف می شود که "کشور" نام دارد.

در یک مسئله N_{var} بعدی، "کشور" توسط رابطه ۱۰ معرفی می شود.



$$\text{country} = \left[P_1, P_2, P_3, \dots, P_{N_{\text{variable}}} \right]$$

(۱۰)

ماتریس کل کشورها به صورت تصادفی ایجاد می‌گردد.

$$\text{Country} = \begin{bmatrix} \text{country}_1 \\ \text{country}_2 \\ \text{country}_3 \\ \vdots \\ \text{country}_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} KP_1 & KI_1 & KD_1 \\ KP_2 & KI_2 & KD_2 \\ KP_3 & KI_3 & KD_3 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ KP_N & KI_N & KD_N \end{bmatrix}$$

(۱۱)

هزینه هر کشور توسط ارزیابی تابع هزینه f با متغیرهای $(P_1, P_2, P_3, \dots, P_{N_{\text{var}}})$ برای بدست آوردن تابع هزینه تعریف می‌شود.

$$\text{cost}_i = f(\text{country}) = f\left(P_1, P_2, P_3, \dots, P_{N_{\text{variable}}}\right)$$

(۱۲)

کشورهای اولیه، N_{country} برای شروع الگوریتم تولید می‌شود. به تعداد N_{imp} از بهترین جمعیت به عنوان امپراطوری‌ها انتخاب می‌شوند. به تعداد N_{col} کشور باقی مانده نیز به عنوان کشورهای مستعمره باقی می‌مانند و تابع هزینه نرمالیزه شده همانند رابطه ۱۳ تعریف می‌شود.

$$C_n = \max_i \{c_i\} - c_n$$

(۱۳)

که C_n و $\max_i \{c_i\}$ به ترتیب هزینه امپریالیست n ، بالاترین هزینه در میان امپریالیست‌ها و هزینه نرمالیزه شده امپریالیست‌ها می‌باشند. به این ترتیب توان نرمالیزه شده نسبی هر امپریالیست قابل تعریف می‌باشد.

$$P_n = \frac{C_n}{\sum_{i=1}^{N_{\text{imperialist}}} C_i}$$

(۱۴)



کشورهای مستعمره بر اساس رابطه ۱۴ بین مستعمره‌ها تقسیم می‌شوند. بنابراین، تعداد اولیه هر مستعمره به ترتیب رابطه ۱۵ بیان می‌گردد.

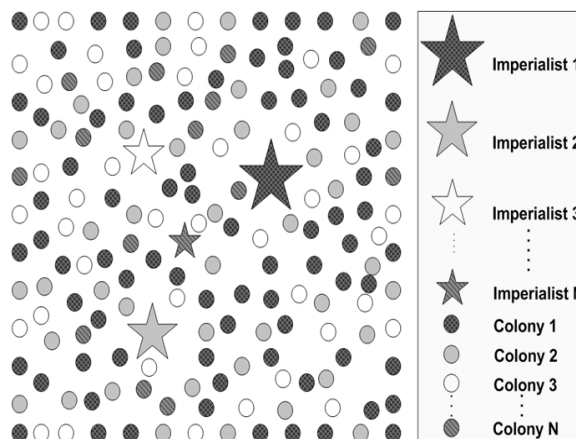
$$N.C._n = \text{round} \{ P_n \cdot N_{col} \} \quad (15)$$

که در رابطه فوق $N.C._n$ تعداد مستعمره‌ها برای هر امپریالیست، N_{col} تعداد کل مستعمره‌ها و round برای گرد سازی عدد تخمینی حاصل شده می‌باشد. شکل ۴ فرایند شکل‌گیری امپریالیست‌های اولیه را نشان می‌دهد که در آن قوی‌ترین امپریالیست‌ها مستعمره‌های بیشتری تصرف می‌کنند. امپریالیست ۱ قوی‌ترین امپریالیست در بین دیگران می‌باشد که بیشترین تعداد مستعمره را به خود اختصاص داده است. در قسمت ادغام سازی، مستعمره به اندازه X واحد به سمت امپریالیست نزدیک می‌شود (شکل ۵).

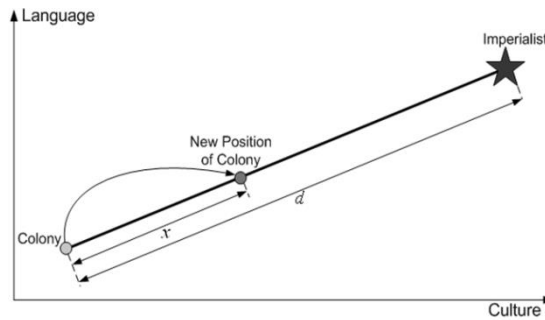
$$x \sim U(0, \beta \times d) \quad (16)$$

که d فاصله بین مستعمره و امپریالیست بوده و B بین ۱ و ۲ می‌باشد. این حرکت در محدوده‌ای از یک بازه زاویه‌ای انجام می‌شود که دارای یک مقدار تصادفی (γ) می‌باشد ولی در عمل توصیه می‌گردد تا در ۴۵ درجه تنظیم گردد.

$$\theta \sim (-\gamma, \gamma) \quad (17)$$



شکل ۴- فرایند شکل‌گیری امپریالیست‌های اولیه



شکل ۵- نزدیک شدن مستعمره به اندازه X واحد به سمت امپریالیست

در هر لحظه که تابع هزینه یک مستعمره کمتر از استعمارگر بشود، نقش بین مستعمره و استعمارگر تغییر می‌یابد. در قدم‌های بعدی، توان کل یک امپراطوری تعریف شده و رقابت بین امپراطوری‌ها بر اساس تابع هزینه کل صورت می‌گیرد. به این ترتیب، امپراطوری‌های ضعیف فرو پاشیده و قوی‌ترین امپراطوری بر اساس کمترین تابع هزینه باقی مانده که امپریالیست آن امپراطوری قوی‌ترین امپریالیست مجموعه بوده و پاسخ نهایی سیستم می‌باشد.

رگرسیون بردار پشتیبان

ماشین‌های بردار پشتیبان (vapnik, 1995) یک روش مرتبط با الگوریتم‌های تحلیل داده و تشخیص الگوی مورد استفاده برای طبقه‌بندی و تحلیل رگرسیون می‌باشد. یک ویژگی جالب این رویکرد این است که این روش تخمینی از اصل کمینه‌سازی ریسک ساختاری ارائه می‌دهد که بر اساس تئوری یادگیری آماری واپنیک می‌باشد (Al-Anazi et al, 2010). برخی از داده‌های تجربی $\{(x_1, y_1), \dots, (x_l, y_l)\} \subset X \times \mathbb{R}$ در دسترس است که در آن X نماینده فضای داده‌های ورودی می‌باشد. در رگرسیون ε -SV (واپنیک، ۱۹۹۵) تلاش برای یافتن یک تابع $f(x)$ می‌باشد که دارای بیشترین انحراف (ε) از مقادیر واقعی y_i است. به بیان دیگر، خطاها در شرایطی که کمتر از ε باشند بی‌معنی می‌باشند. تابع متداول در شروع تابع خطی f می‌باشد که به شکل $f(x) = \langle w, x \rangle + b$ با شرط $w \in X, b \in \mathbb{R}$ می‌باشد که در آن w بردار وزن می‌باشد. برای مینیمم کردن در یک مساله بهینه‌سازی به طریق زیر تعریف می‌شود.

$$\frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^l (\xi_i + \xi_i^*) \quad (18)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} y_i - \langle w, x_i \rangle - b \leq \varepsilon + \xi_i \\ \langle w, x_i \rangle + b - y_i \leq \varepsilon + \xi_i^* \\ \xi_i, \xi_i^* \geq 0 \end{array} \right. \quad (19)$$

که در آن ξ_i و ξ_i^* قیدهای تابع می‌باشند. بنابراین، داده‌ها از طریق روابط زیر به یک تابع رگرسیونی تطبیق داده می‌شود.



$$|\xi|_\varepsilon := \begin{cases} 0 & \text{if } |\xi| - \varepsilon \\ |\xi| - \varepsilon & \text{otherwise} \end{cases} \quad (20)$$

$$K(x_i, x_j) = (\phi(x_i)\phi(x_j)) \\ = \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}\|x_i - x_j\|^2\right) \quad ij=1, \dots, N \quad (21)$$

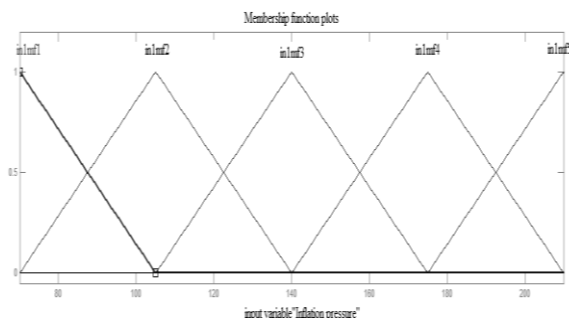
$$f(x, \alpha_i, \alpha_i^*) \\ = \sum_{i=1}^{N_{tr}} (\alpha_i - \alpha_i^*) (K(x_i, x_j)) + b \quad (22)$$

در نهایت برای ارزیابی مدل های توسعه یافته از چهار شاخص ارزیابی میانگین خطای نسبی (AARE) و خطای میانگین مربعات (MSE)، میانگین خطای نسبی (MRE) و ضریب تبیین (R^2) بهره گرفته شد.

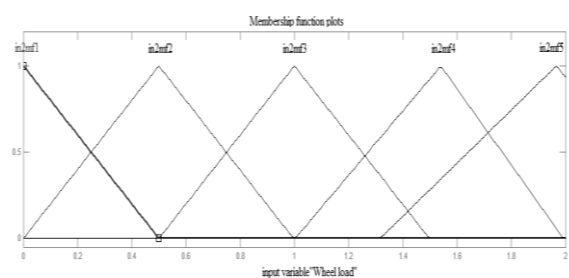
نتایج و بحث

توزیع توابع عضویت برای مدل های ANFIS و ANFIS-ICA به ترتیب در شکل های ۶ و ۷ نشان داده شده اند. در شکل ۷، تغییرات ایجاد شده در تنظیم توابع عضویت به واسطه الگوریتم بهینه سازی می باشد. مدلسازی های گوناگون برای یافتن بهترین سیستم پیش بینی توسط روش های به کار گرفته شده در این تحقیق بسط یافتند. عملکرد این مدل ها در جدول ۲ بر اساس شاخص های آماری طرح شده برای پیش بینی انرژی هدر رفته در حرکت چرخ ارائه شده است. همانطور که از جدول ۲ دیده می شود، مقدار ضریب تبیین برای هر یک از مدل ها بالا می باشد. این نشان می دهد که یک رابطه منطقی بین داده های پیش بینی شده توسط مدل ها و داده های واقعی وجود دارد. با این وجود، روش ترکیبی ANFIS-ICA بالاترین مقدار ضریب تبیین را برای پیش بینی انرژی هدر رفته در سطح تماس چرخ و خاک به واسطه مقاومت غلتشی دارا می باشد. علاوه بر این، از جدول ۲ مشهود است که تنظیم پارامترهای عضویت با استفاده از روش های جستجوی جهانی^۱ می تواند باعث بهبود کیفیت مدل ANFIS بگردد.

¹Global Search Techniques



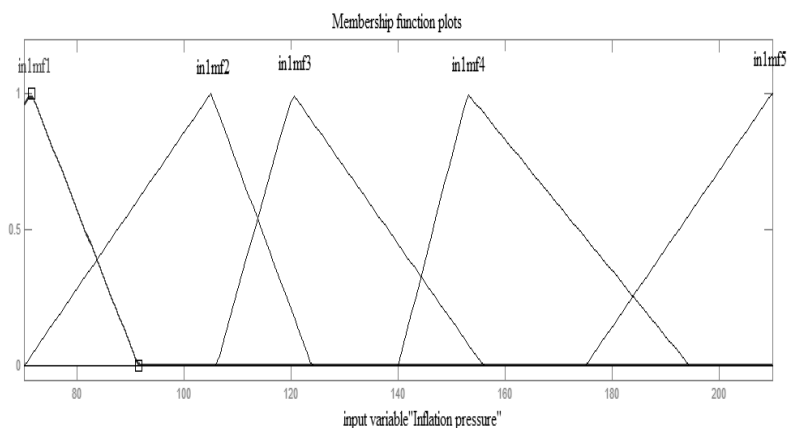
(الف)



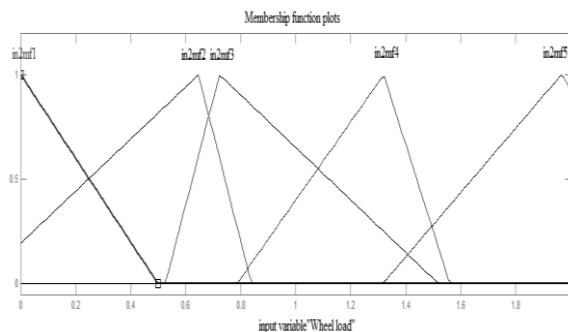
(ب)

شکل ۶- توابع عضویت برای ANFIS (الف) فشار باد و (ب) بار روی چرخ

نتایج نشان می‌دهد که عملکرد SVR با تابع خطی و ANFIS نسبت به SVR با تابع چند جمله‌ای و ANFIS-ICA ضعیف‌تر می‌باشد. دلیل اصلی این امر رابطه غیر خطی بین پارامترهای ورودی و متغیرهای خروجی می‌باشد. مدل ANFIS-ICA دارای بهترین عملکرد بوده و روش SVR با تابع پایه چند جمله‌ای دارای عملکرد مورد قبولی می‌باشد.



(الف)



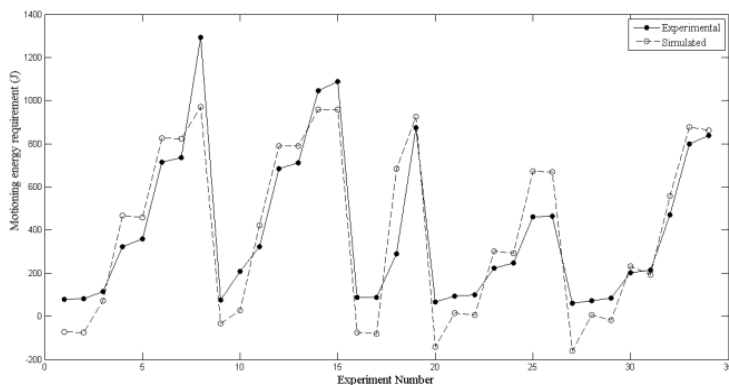
(ب)

شکل ۷- توابع عضویت برای ANFIS-ICA برای الف) فشار باد و ب) بار روی چرخ

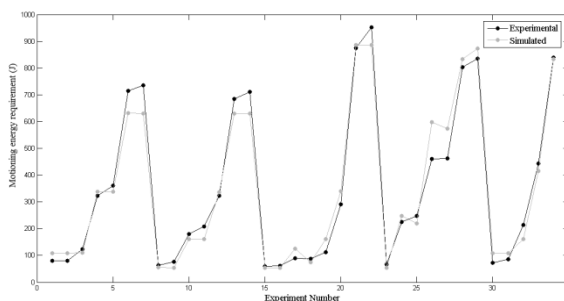
جدول ۲- نتایج مدل‌سازی های انجام گرفته برای پیش بینی هدر رفت انرژی

مدل	MSE	MRE (%)	AARE (%)	R ²
ANFIS	9.8574	3.4465	2.6685	0.9822
SVR-polynomial	6.9325	2.7487	2.0281	0.9882
SVR-Linear	14.3742	4.2872	3.8839	0.9813
ANFIS-ICA	1.2592	0.2227	0.1355	0.9943

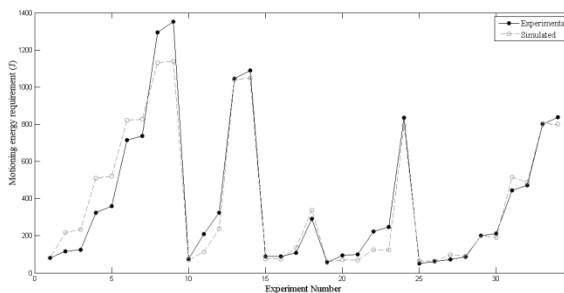
نتایج عملکردی مدل های توسعه یافته برای پیش بینی مقدار هدر رفت انرژی در شکل های ۸ تا ۱۱ نشان داده شده اند. بر اساس این شکل ها و جدول ۲، قابل مشاهده است که روش ANFIS-ICA یک رهیافت با توانایی بالا برای حل مسائل پیچیده و غیر خطی از جمله پیش بینی هدر رفت انرژی در ماشین های برون جاده ای است که متشکل از دینامیک پیچیده چرخ و رفتار غیر خطی خاک می باشد.



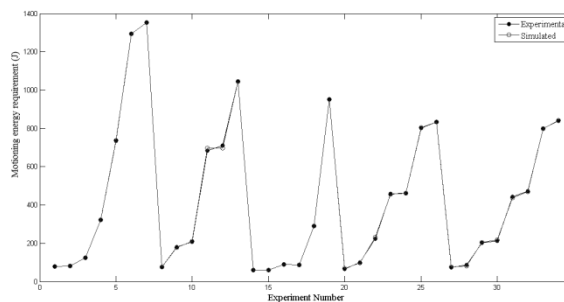
شکل ۸- نتایج عملکردی مدل ANFIS برای پیش بینی مقدار هدر رفت انرژی



شکل ۹- نتایج عملکردی مدل SVR-polynomial برای پیش بینی مقدار هدر رفت انرژی



شکل ۱۰- نتایج عملکردی مدل SVR-Linear برای پیش بینی مقدار هدر رفت انرژی



شکل ۱۱- نتایج عملکردی مدل ANFIS-ICA برای پیش بینی مقدار هدر رفت انرژی



شایان ذکر است که استفاده از انباره خاک مجهز به آزمونگر تک چرخ دارای مزیت کنترل شرایط آزمون بوده و از اثرپذیری آزمایشات از عوامل غیر مورد بررسی مانند فشردگی موضعی خاک و ناهمواریهای مسیر حرکت کاسته بود که منتج به مدل‌سازی دقیق‌تر برای یافتن پاسخ سیستم نسبت به تیمارهای مورد بررسی گردید.

نتیجه‌گیری

از یک آزمونگر تک چرخ درون انباره خاک برای اندازه‌گیری مقاومت غلشی و محاسبه انرژی هدررفته به واسطه تقابل چرخ و خاک استفاده شد. داده‌های حاصل شده توسط ماشین بردار پشتیبان و انفیس ادغام شده با الگوریتم رقابت استعماری استفاده گردید و برای ارزیابی سیستم توسعه یافته از میانگین خطای نسبی (AARE) و خطای میانگین مربعات (MSE)، میانگین خطای نسبی (MRE) و ضریب تبیین (R^2) بهره گرفته شد. ۴ سطح از بار روی چرخ (۰٫۵، ۱، ۱٫۵ و ۲ کیلونیوتن) و نیز حالت بدون بار اعمالی روی چرخ و ۵ سطح از فشار باد تایر (۷۰، ۱۰۰، ۱۴۰، ۱۷۵ و ۲۱۰ کیلوپاسکال) با دو سطح از تکرار درون یک انباره خاک با استفاده از یک آزمونگر تک چرخ مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که ANFIS-ICA نسبت به روش‌های دیگر عملکرد بهتری در پیش‌بینی انرژی هدررفت ماشین‌های برون‌جاده دارد.

منابع و مآخذ

- 1) Al-Anazi AF, Gates ID. Support vector regression for porosity prediction in a heterogeneous reservoir: A comparative study, *Computers & Geosciences* 2010; 36: 1494–1503.
- 2) Atashpaz-Gargari E, Lucas C. Imperialist Competitive Algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition, *IEEE Congress on Evolutionary Computation* 2007; 4661–4667.
- 3) Bekkar MG. Off road locomotion. *Research and Development in Terramechanics*. The University of Michigan Press. Ann Arbor: Michigan; 1960.
- 4) Burges C J C. A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data Mining and Knowledge Discovery* 1998; 2: 121–167.
- 5) Cheng-Yuan T, Yi-Leh W, Chien-Chin P. Fundamental matrix estimation by multiobjective genetic algorithm with Taguchi's method. *Applied Soft Computing* 2012; 12: 553-558.
- 6) Cortes C, Vapnik V. Support-vector networks, *Machine Learning* 1995; 20: 273-297.
- 7) Takagi T, Sugeno M. "Fuzzy Identification of System and Its Applications to Modelling and Control," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 1985; 15: 116-132.
- 8) Ho W H, Tsai J T, Lin B T, Chou J H. Adaptive network-based fuzzy inference system for prediction of surface roughness in end milling process using hybrid Taguchi-genetic learning algorithm. *Expert Systems with Applications* 2009; 36: 3216–3222.
- 9) Jang J S R. "ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 1993; 23: 665-685.
- 10) Jiang HM, Kwong CK, Ip WH, Wong TC. Modeling customer satisfaction for new product development using a PSO-based ANFIS approach. *Applied Soft Computing* 2012; 12: 726-734.



- 11) Mardani A, Shahidi K, Rahmani A, Mashoofi B, Karimmaslak H Studies on a long soil bin for soil-tool interactions. *Cercetări Agronomice în Moldova* 2010; 142: 5-10.
- 12) Mollaiy Berneti S. A Hybrid Approach Based on the Combination of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System and Imperialist Competitive Algorithm: Oil Flow Rate of the Wells Prediction Case Study. *International Journal of Computational Intelligence Systems* 2013; 6: 198-208.
- 13) Pousinho H M I, Mendes V M F, Catalao J P S. A hybrid PSO-ANFIS approach for short-term wind power prediction in Portugal. *Energy Conversion and Management* 2011; 52: 397-402.
- 14) Pousinho HMI, Mendes VMF, Catalão JPS. Short-term electricity prices forecasting in a competitive market by a hybrid PSO-ANFIS approach. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 2012; 39: 29-35.
- 15) Taghavifar H, Mardani A. A knowledge based Mamdani fuzzy logic prediction of the motion resistance coefficient in a soil bin facility for clay loam soil. *Neural Computing and Applications* 2013; doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00521-013-1400-4>; Internet; accessed September 16, 2013
- 16) V. Vapnik. *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer New York, 1995
MSE:2.81884



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



Energy dissipation analysis of off-road machines using ANFIS-ICA and Support Vector Regression

The present paper is aimed at investigating several soft computing approaches for modeling motioning energy requirement of ground vehicles. Support vector regression (SVR), adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and adaptive neuro-fuzzy inference system coupled with imperialist competitive algorithm (ANFIS-ICA) methodologies were adopted to discover the best model in terms of statistical criteria including average absolute relative error (AARE), mean square error (MSE), mean relative error (MRE) and coefficient of determination (R^2). A total of 50 data points were derived from experiments at five levels of wheel load (i.e. 0, 0.5, 1, 1.5, and 2 kN) and five levels of tire inflation pressure (i.e. 70, 100, 140, 175, and 210 kPa) with two replicates in a capacious soil bin facility utilizing a single wheel-tester. The results revealed that ANFIS-ICA outperformed ANFIS and SVR in account of performance evaluation criteria. These findings shed light on some of the underlying principles of SVR, ANFIS-ICA and ANFIS in prediction of motioning energy requirement of ground vehicles.

Keywords Dissipated Energy: ICA: ANFIS: SVR: Soil bin