

## تعیین پارامترهای مدل مجیک با استفاده از روش نگاشت‌های خودسازمان و بررسی تأثیر شرایط جاده‌ای بر روی پارامترهای مدل

مدل مجیک معروف‌ترین و پرکاربردترین مدل تایر می‌باشد که دارای تعدادی پارامتر برای توصیف مدل است در این مقاله از روش نگاشت‌های خود سازمان یافته (SOM) برای به دست آوردن پارامترهای مدل مجیک استفاده شده است و تأثیر شرایط مختلف جاده‌ای (مرطوب و خشک) بر روی پارامترهای مدل بررسی شده است. داده برداری توسط وسیله طراحی شده توسط گروه تحقیقاتی دانشگاه مالاگا انجام گرفت تا تست‌های واقعی در جاده‌های متداول انجام شود. منحنی به دست آمده از مدل با منحنی واقعی مقایسه شد و مشاهده شد سازگاری خوبی بین دو منحنی وجود دارد و SOM توانسته است با دقت خوبی پارامترها را در دو سطح جاده‌ای مرطوب و خشک تخمین بزند.

نگار آفاقی سردرود<sup>۱</sup>

دانشجوی دکترا

اسعد مدرس مطلق<sup>۲</sup>

دانشیار

آرش رنجبران<sup>۳</sup>

استادیار

واژه‌های راهنما: مدل تایر، پارامترهای مدل مجیک، روش نگاشت‌های خود سازمان (self-organizing map)

### ۱- مقدمه

تایرها نقش مهمی در دینامیک وسیله نقلیه دارند چون که تنها وسیله ارتباطی وسیله نقلیه و جاده می‌باشند و نیروها و گشتاورهای مورد نیاز برای ترمز، کشش و چرخش از طریق تماس تایر با جاده تولید می‌شوند. بنابراین مطالعه تعامل بین جاده و تایر برای افزایش ایمنی و کاهش تصادفات جاده‌ای مهم می‌باشد. این نیروها و گشتاورها به دلیل اصطکاک بین جاده و تایر ایجاد می‌شوند [۱]. مطالعات زیادی برای تخمین ضریب اصطکاک بین جاده-تایر انجام شده است. آقاسی زاده و میرزایی [۲] به شناسایی مدل‌های مناسبی از نیروی اصطکاک طولی تایر به صورت آزمایشگاهی پرداختند و برای این منظور از یک وسیله آزمایشگاهی که در مقیاس کوچک ساخته شده بود استفاده کردند و نتیجه گرفتند که مدل‌های شناسایی شده، خروجی دستگاه را به خوبی ردیابی می‌کنند و مدل‌های داگوف، فیلا و شبه خطی کم‌ترین میزان خطا را دارند. Wanger و همکاران [۳] برای محاسبه ضریب اصطکاک لاستیک در سطح ناصاف از روش المان محدود استفاده کردند که دو مشخصه فیزیکی اصلی هیستریسیس و چسبندگی مدل شد.

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترا، مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه، ارومیه negarafaghi@yahoo.com

<sup>۲</sup> نویسنده مسئول، دانشیار، مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه، ارومیه amodmot@gmail.com

<sup>۳</sup> استادیار، مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ایلخچی ranjbaranarash@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۲۸، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۱

هیسترسیس از طبیعت ویسکوالاستیک لاستیک نشئت می‌گیرد که شامل تداخل سطح ناصاف و لاستیک با جزئیات میکروسکوپییک بدون در نظر گرفتن ساختار جاده می‌باشد. چسبندگی قانون تنش برشی ماکروسکوپییک می‌باشد. در بیش‌تر تحقیقات انجام شده برای تخمین ضریب اصطکاک جاده و تایر تنها از دینامیک طولی و عرضی وسیله استفاده کردند و از انتقال وزن چشم‌پوشی کردند در تحقیق انجام شده [۴] انتقال وزن را نیز در شرایط مختلف جاده‌ای لحاظ کردند. در مطالعه انجام شده در مرجع [۵] تمام تحقیقات انجام شده مربوط به تخمین ضریب اصطکاک بین جاده- تایر به دو گروه بر اساس تجربی و یا بر اساس مدل تقسیم می‌شوند. در روش تجربی رابطه بین داده‌های سنسور (سنسور اکوستیک، دما و ...) با ضریب اصطکاک جاده تعیین می‌شود و یکی از روش‌های معمول مدل، مدل تایر می‌باشد. به دلیل غیرخطی بودن مدل تایر مدل‌های زیادی از جمله مدل تایر آماری [۶]، مدل رینگ صلب با Bouc-Wen [۷]، مدل براش [۸]، مدل تایر F [۹] و مدل مجیک ارائه شدند که مدل مجیک به دلیل دقت بالا و سازگاری با داده‌های تجربی یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین مدل‌ها در دو دهه اخیر می‌باشد [۱۰]. مدل مجیک در شرایط مختلف جاده‌ای استفاده می‌شود در مرجع [۱۱] کاربرد مدل مجیک را در جاده یخی تست کردند مدل توانست با دقت خوبی در شرایط جاده یخی عمل کند. کاربرد مدل مجیک در سرعت‌های مختلف و در تایرهای مختلف بررسی شده است و مدل توانسته با دقت زیادی ضریب اصطکاک را تخمین بزند [۱۲]. با استفاده از روش منطق فازی و ورودی لغزش طولی و لغزش زاویه‌ای مقدار نیروی طولی و جانبی و گشتاور تعیین می‌شود ولی مقدار پارامترهای مدل قابل محاسبه نمی‌باشد [۱۳]. مهم‌ترین مسله در استفاده از مدل مجیک تعیین پارامترهای مدل می‌باشد که در تحقیقات انجام شده روش‌های مختلفی استفاده شده است. در سال (۲۰۰۴) از الگوریتم ژنتیک برای محاسبه پارامترهای مدل مجیک استفاده کردند مزیت اصلی این روش سادگی کاربرد الگوریتم و هزینه کم می‌باشد و کاربران این روش به دانستن ویژگی‌های فیزیکی پارامترها نیازی ندارند [۱۴]. سپس در سال (۲۰۰۶) از روش IMMa الگوریتم بهینه سازی (IOA) بر اساس تکنیک ژنتیک برای تعیین پارامترهای مدل مجیک استفاده کردند. مزیت این روش سادگی کاربرد و سرعت همگرایی بالا برای پاسخ بهینه بدون احتیاج به دانش گسترده از فضای جستجو بود. از آنجایی که برای شروع جستجو دانستن مقادیر اولیه پارامترهای مدل مجیک ضروری نیست (به مقادیر اولیه حساس نیست) جستجو با مقادیر تصادفی بین [۰،۱] شروع شد. هم‌چنین روش مطرح شده را با تکنیک MF-Tool (برنامه توسعه یافته توسط TNO) که برای یافتن پارامترهای مدل مجیک از جعبه ابزار متلب می‌باشد، مقایسه کردند و مشاهده کردند که مجموع خطای روش استفاده شده یک-سوم خطای روش MF-Tool می‌باشد [۱۵].

در سال (۲۰۱۳) برای تعیین پارامترها از روش الگوریتم ژنتیک برای دو مدل ریاضی یکی در متلب و دیگری در کارسیم استفاده کردند [۱۶]. از روش ID-TRIP برای تعیین پارامترهای رابط جاده و تایر با دقت و قابلیت انعطاف‌پذیری بالا استفاده شد [۱۷]. پارامترهای تایر در حین استفاده از ماشین به دلیل کهنگی و تغییر فشار تایر و دلایل زیادی تغییر می‌کند تخمین‌گر اتوماتیک قادر به تخمین پارامترها در تایرها و شرایط مختلف می‌باشد از روش TS برای بازیابی دقت تخمین علی‌رغم تغییرات تایر استفاده کردند و عملکردش با تخمین‌گرهای دیگر مثل فیلتر کالمن مقایسه کردند و مشاهده کردند که روش TS بهبود عمده‌ای در تخمین پارامترها داشته است [۱۸]. Zhang و همکاران [۱۹] از روش بهینه سازی Homotopy برای تعیین

پارامترهای مدل مجیک استفاده کردند و مشاهده کردند که روش مورد استفاده در مقایسه با روش‌های بهینه‌سازی عمومی توانایی بهینه‌سازی بهتر و با سرعت بالاتری را برخوردار می‌باشد. تحقیقات گوناگونی الگوریتم‌های مختلفی همچون نامیلی، گرادینت، روش براساس نیوتن و شبکه عصبی و غیره را بررسی کردند و مشاهده کردند که الگوریتم‌های مختلف مقادیر یکسانی برای ضرایب مدل مجیک ارائه نمی‌دهند بر حسب نوع الگوریتم مقادیر پارامترهای متفاوت مدل مجیک ارائه می‌شود [۲۰]. از روش نگاشت‌های خود سازمان (SOM) برای به دست آوردن پارامترهای مدل مجیک روی رولر در مرکز تحقیقات ترمز استفاده شد شبکه عصبی توانست پارامترهای مدل را در هر دو شرایط به دقت تخمین بزند [۲۱]. Qian و همکاران [۲۲] برای تعیین روابط ۲۱ ویژگی مواد از بین ۳۹۸ مواد صنعتی از روش SOM استفاده کردند و نشان دادند که این روش توانست اطلاعات مواد را طبقه‌بندی کند. اکثر تحقیقاتی که برای تعیین ضرایب پارامترهای مدل مجیک انجام شده در آزمایشگاه توسط دستگاه‌های آزمایشی بودند. در این تحقیق داده برداری توسط وسیله طراحی شده توسط گروه تحقیقاتی دانشگاه مالاگا انجام گرفت تا تست‌های واقعی در جاده‌های متداول انجام شود و تاثیر شرایط مختلف جاده‌ای بر روی پارامترهای مدل مجیک و بر مقدار ضریب اصطکاک مورد مطالعه قرار گرفت. برای تعیین پارامترهای مدل مجیک روش نگاشت‌های خود سازمان (SOM) استفاده گردید که در مقایسه با الگوریتم MLP خطای کمتری داشت [۲۳] خطای این روش ۱٪ و کم‌تر می‌باشد و به زمان محاسبه کمتری احتیاج دارد. مزیت این روش در مقایسه با الگوریتم MLP کاهش زمان محاسبه و احتیاج به تعداد داده‌های کم‌تر تست برای توسعه مدل تایر می‌باشد.

## ۲- مدل تایر

از بین مدل‌های تایر ارائه شده معروف‌ترین و پرکارترین مدل، مدل مجیک می‌باشد و دقت زیادی بین منحنی‌های تجربی و مدل وجود دارد. این مدل براساس پاسخ پایای داده‌های تایر می‌باشد و مقدار نیروی ترمزی تایر و گشتاور را به مقدار سرش خالص ربط می‌دهد. در واقع مدل وابستگی نیروی طولی را به نرخ سرش چرخ و همچنین نیروی جانبی و گشتاور را به زاویه سرش ربط می‌دهد و یک مدل استاندارد برای مطالعه دینامیک وسیله می‌باشد و در صنعت رابط بین جاده و تایر را توصیف می‌کند [۲۴] این مدل با همکاری دانشگاه تکنولوژی دلفت و شرکت خودرو ولو توسعه یافت. در این مقاله نیز از این مدل تایر برای تعیین نیروی ترمزی بین جاده و تایر استفاده شد. مدل مجیک در شرایط لغزش خالص:

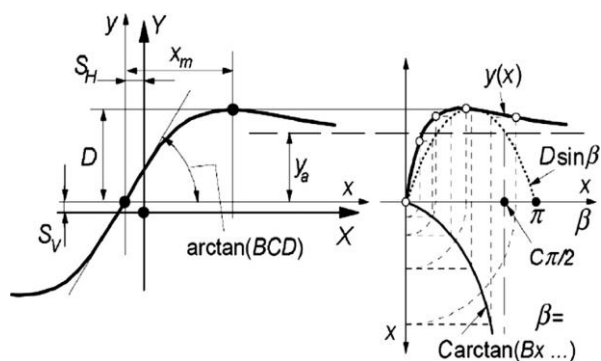
$$(x) = D \sin[ C \arctan[B(1 - E)x + (E) \arctan(Bx)]] \quad (1)$$

با

$$Y(X) = y(x) + S_v$$

$$x = X + S_v$$

معادله (۱) نیروی افقی و جانبی و گشتاور را طبق نوع ورودی تولید می‌کند. بنابراین خروجی  $Y(X)$  برای موقعی که  $x$  لغزش طولی باشد، نیروی ترمزی یا کشش  $F_x$  می‌باشد و موقعی که  $x$  لغزش زاویه‌ای باشد  $Y(X)$  نشان دهنده نیروی جانبی  $F_y$  می‌باشد. در هر موردی برای تعیین پارامترها از تست تایر مشخصی استفاده می‌شود.



شکل ۱- معنی پارامترهای مدل مجیک [۹]

در معادله (۱)  $B$  فاکتور سفتی که شیب منحنی را در مبدا کنترل می‌کند،  $C$  فاکتور شکل که محدوده سینوسی را کنترل می‌کند،  $D$  مقدار ماکزیمم را مشخص می‌کند و  $E$  فاکتور منحنی می‌باشد که انحنا منحنی را در ماکزیمم مقدار کنترل می‌کند و هم‌چنین موقعیت  $x_m$  را نیز مشخص می‌کند. شکل (۱) معنی پارامترهای مدل مجیک را نشان می‌دهد.

### لغزش طولی

یکی از مهم‌ترین پارامترهای لغزش تایر، لغزش طولی می‌باشد که طبق معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$S_x = \frac{v_x - r\omega}{v_x} \quad (2)$$

با استفاده از معادله (۲) می‌توان نشان داد موقعی که نیروی ترمزی وجود ندارد  $v_x = r\omega$  می‌باشد و لغزش طولی صفر هست و موقعی که چرخ قفل می‌کند  $\omega = 0$  و مقدار لغزش طولی برابر یک می‌باشد. لغزش موقعی اتفاق می‌افتد که بر ماکزیمم اصطکاک بین جاده و تایر غلبه شود بنابراین ارتباط تایر با جاده (چنگ انداختن تایر به جاده) کم می‌شود.

نیروی ترمزی نیروی که بین جاده و تایر ایجاد می‌شود از معادله (۳) محاسبه می‌شود.

$$F_x = \mu F_z \quad (3)$$

که ضریب اصطکاک به شدت غیرخطی می‌باشد و در این مقاله ضریب اصطکاک در دو سطح جاده خشک و مرطوب مطالعه می‌شود.

### ۳- نگاشت‌های خود سازمان (SOM)

نگاشت‌های خود سازمان (SOM) الگوریتم نظارت ناپذیر می‌باشند که توسط کوهنن ارائه شد و به دلیل قدرت تطبیق پذیری بالا در خیلی از تحقیقات کاربردی استفاده شده است امروزه به دلیل وجود نرم افزارهای همچون متلب و کتابخانه‌های از پیش تعریف شده همچون شبکه عصبی از SOM می‌توان در زمینه‌های مختلفی کاربردی استفاده کرد.

روش SOM کاربردهای همچون کاهش ابعاد، طبقه‌بندی داده‌ها، آنالیز تصویر و ... را دارد که ویژگی اصلی این نگاشت طبقه‌بندی دسته بزرگی از منحنی‌ها می‌باشد در این روش نورون‌های همسایه یاد می‌گیرند که قسمت‌های همسایه از فضای ورودی را تشخیص دهند. طی روال آموزش SOM، بردار وزن‌های مربوط به هر نورون به سمت مرکز یک کلاستر از بردارهای ورودی حرکت می‌کنند. قبلاً وزن نرون برنده و همسایگی بدون در نظر گرفتن فاصله از بردار ورودی بروز رسانی می‌شد ولی در SOM استفاده شده در این مقاله دورترین و نزدیک‌ترین نورون‌ها از نورون برنده پیدا شده و هنگام بروز رسانی وزن مورد توجه قرار می‌گیرد مسلم هست که SOM استفاده شده نتایج بهتر و موثرتری در مقایسه با SOM قبلی دارد [۲۵].

مزیت SOM این است که فرمت بصری فراهم می‌کند که کاربر به راحتی بتواند به گروه‌بندی، روابط و ساختار در ورودی‌های با پایگاه داده پیچیده پی ببرد و نورون‌های مجاور در توپولوژی SOM بر روی یکدیگر اثر گذاشته و به هم نزدیک می‌شوند و در مکان‌های فیزیکی خاصی چیده می‌شوند. بنابراین این شبکه‌ها علاوه بر توزیع بردارهای ورودی توپولوژی آن‌ها را نیز یاد می‌گیرند. نورون‌های یک لایه از SOM مانند یک تابع توپولوژیک در مکان‌های فیزیکی خاصی چیده می‌شوند [۲۶]. در بین ورژن‌های مختلف SOM در این مقاله روش Batch Learning-SOM (BL-SOM) استفاده شد [۲۷].

الگوریتم آموزشی BL-SOM به طور خلاصه در چندین مرحله آورده شده است:

۱. نقشه توپوگرافی در فضای چند بعدی توسط پخش داده‌های آموزشی تعیین می‌شود. مختصات هر گره در فضای چند بعدی شبکه، وزن گره نامیده می‌شود. در این تحقیق نقشه شش ضلعی استفاده شد.
  ۲. یک داده از بین داده‌های آموزشی انتخاب می‌شود.
  ۳. فاصله اقلیدسی داده انتخاب شده در مرحله ۲ با تمام داده‌ها محاسبه می‌شود و نزدیک‌ترین گره به گره انتخابی مشخص می‌شود. گره انتخاب شده در این مرحله BMU نامیده می‌شود.
  ۴. با استفاده از شعاع همسایگی، همسایه‌های BMU مشخص می‌شود. شعاع همسایگی از مقادیر بزرگ شروع می‌شود و در هر مرحله تکرار کوچک‌تر می‌شود. در این تحقیق کاهش شعاع همسایگی در دو مرحله انجام گرفت. در مرحله اول شعاع همسایگی از ۸ به ۲ با ۲۷۳ تکرار کاهش پیدا کرد و در مرحله دوم از ۲ به ۱ با ۳۶۱ تکرار کاهش پیدا کرد.
  ۵. مراحل ۲-۴ تا مشخص شدن BMU و همسایگی BMU برای تمام داده‌های آموزشی تکرار می‌شوند.
  ۶. به‌روز رسانی وزن BMU ها طوری که BMU ها نزدیک داده‌های آموزشی قرار بگیرد.
- برای تعیین کیفیت نگاشت شاخص‌های تحلیلی خاصی باید اندازه‌گیری شود معمولاً دو معیار برای ارزیابی استفاده می‌شود: رزولوشن و توپولوژی محافظت. بالاتر بودن ابعاد داده‌ها از ابعاد شبکه مغایر هدف می‌باشد که این وضعیت با ارور میانگین مربعات گوانتیزه (Qe) که در معادله (۴) آورده شده، رزولوشن نقشه و ارور توپوگرافیک (Te) اندازه‌گیری و تحلیل می‌شود. میانگین ارور گوانتیزه به‌طور ساده به‌عنوان میانگین فاصله از هر بردار داده شناخته می‌شود [۲۳].

$$MSQE = \sum_{i=1}^k \int_{t_{i-1}}^{t_i} (x - q_i)^2 p(x) dx \quad (4)$$



شکل ۲- ماشین تست

#### ۴- دستگاه تست

وسیله طراحی شده توسط گروه تحقیقاتی دانشگاه مالاگا برای داده برداری استفاده شد تا تست‌های واقعی در جاده‌های متداول انجام شود. از موتور، موتورسیکلت در قسمت عقب دستگاه استفاده شده است و چرخ‌های عقب محرک بودند. شکل (۲) تصویر وسیله تست را نشان می‌دهد. سیستم مجهز به سنسورهای بود تا متغیرها را در حین ترمزگیری اندازه‌گیری کند. دینامومتر چرخشی مدل p625 روی تایر جلو سمت چپ نصب شده بود (شکل ۳ الف) تا نیروی طولی و عرضی و عمودی را اندازه‌گیری کند (شکل ۳ ب). دستگاه مجهز به تایرهای Hankook R15 205/65 ساخت کره جنوبی می‌باشد.

محاسبه دقیق، صحیح، و سریع مقدار سرعت خطی خودرو اهمیت ویژه‌ای در عملکرد صحیح سیستم‌های ترمز ضد قفل و زمان ترمزگیری دارد روش‌های مختلفی برای محاسبه سرعت استفاده شده است. در دستگاه استفاده شده در این مقاله برای اندازه‌گیری سرعت و موقعیت دستگاه در حین تست از سیستم اندازه‌گیری مجهز به GPS استفاده شد. تجهیزات انتخاب شده مدل DL2 از تکنولوژی کارخانه RACE بود. این وسیله موقعیت و سرعت وسیله را تعیین می‌کرد و در هر ثانیه ۱۰۰ تا اندازه‌گیری انجام می‌داد و دستگاه مجهز به شتاب‌سنج می‌باشد که برای اندازه‌گیری شتاب طولی و عرضی استفاده شده است.

مزیت استفاده از این دستگاه این است که تست ترمز در شرایط جاده‌ای واقعی انجام می‌شود و داده برداری در دو سطح جاده مرطوب و خشک انجام گرفت و سیستم ترمزی بدون سیستم ضد قفل عمل می‌کند.



شکل ۳ ب- اندازه‌گیری نیروی طولی و عمودی

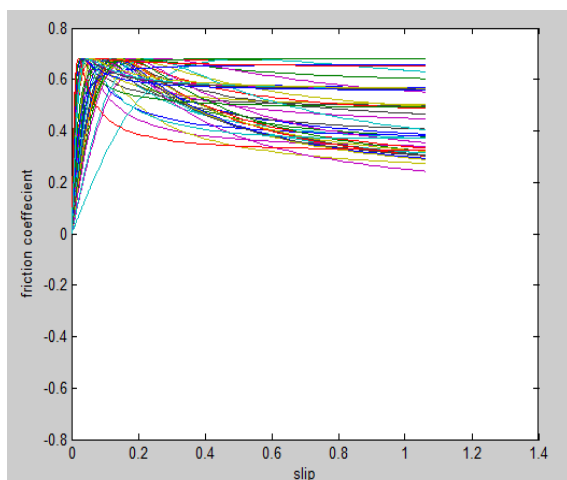


شکل ۳ الف- دینامومتر روی چرخ

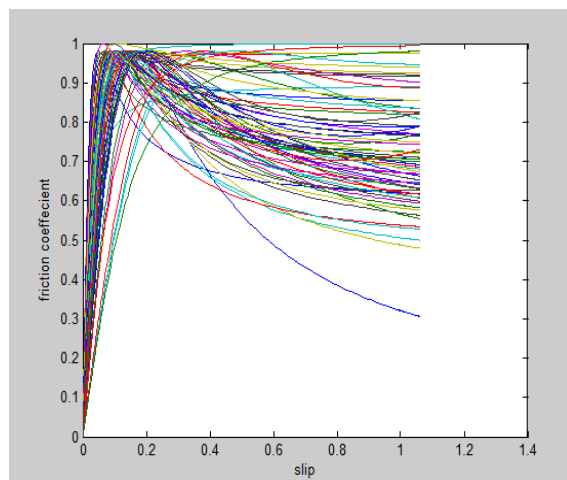
## ۵- تعیین پارامترهای مدل مجیک

برای تشکیل منحنی‌های پایگاه داده، مقادیر مختلفی برای پارامترهای مدل مجیک برای تعیین نتیجه بهتر استفاده شد و پایگاه داده با ۷۰ منحنی تئوری (منحنی‌هایی که با استفاده از پارامترهای مختلف مدل مجیک به دست آمده‌اند) برای جاده خشک (شکل ۴الف) و برای جاده مرطوب با ۵۰ منحنی تئوری (شکل ۴ب) تشکیل شد. هر منحنی بر حسب مقادیر مختلف پارامترهای مدل مجیک شکل خاصی دارند اشکال (۴) پایگاه‌های داده مدل مجیک را نشان می‌دهد. منحنی‌ها توسط SOM در گروه‌های مختلف طبقه‌بندی می‌شوند سپس منحنی جدید مدل تاپیر به صورت اتوماتیک و با دقت شناسایی می‌شود و به یکی از گروه‌ها اختصاص داده می‌شود SOM اجازه می‌دهد که الگوها با رفتار مشابه در یک گروه قرار بگیرند. سپس طبقه‌بندی داده‌ها طبق شکل (۵الف) برای جاده خشک و شکل (۵ب) برای جاده مرطوب انجام می‌شود و همان‌طور که در شکل مشخص هست آموزش نقشه برای جاده خشک با ۷۰ تا منحنی و برای جاده مرطوب با ۴۵ تا منحنی صورت گرفته است و در هر شکل، شکل سمت راست شماره هر یک از منحنی‌هایی که در یک گروه خاص قرار گرفته‌اند را نمایش می‌دهد و در شکل سمت چپ گروه‌بندی با رنگ مشخص شده است که به صورت اتوماتیک با یک بار آموزش به وجود آمده‌اند و در هر گروه منحنی‌های که شبیه هم هستند قرار گرفته‌اند. در اشکال (۵) هر شش ضلعی نمایش دهنده‌ی یک نرون می‌باشد.

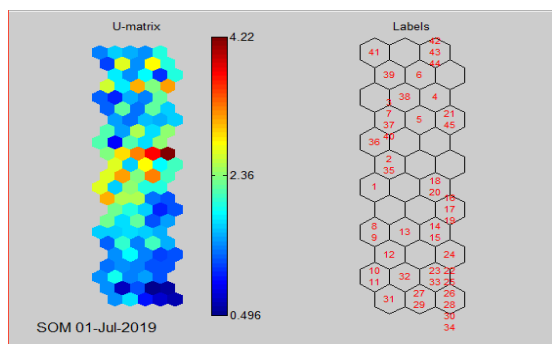
با آموزش نگاشت SOM پیکربندی توپوگرافیک حفظ می‌شود و منحنی جدید که در آموزش استفاده نشده است می‌تواند تست شود و گروه منحنی جدید (نرون برنده) مشخص می‌شود. هر گروه شامل مقادیر متفاوتی از پارامترهای مدل مجیک که شکل منحنی را تعیین می‌کند، می‌باشد. پارامترهای منحنی تست از پارامترهای منحنی‌های که در آن گروه قرار گرفته است تعیین می‌شود. اگر در آن گروه چندین منحنی قرار داشته باشد میانگین پارامترها به عنوان پارامترهای مدل مجیک منحنی تست انتخاب می‌شود. بنابراین پارامترهای اختصاص یافته به منحنی تئوری از پارامترهای منحنی‌های نرون برنده تعیین می‌شود اشکال (۶) نرون برنده و شماره منحنی‌های که در نرون برنده قرار گرفته‌اند را مشخص می‌کند.



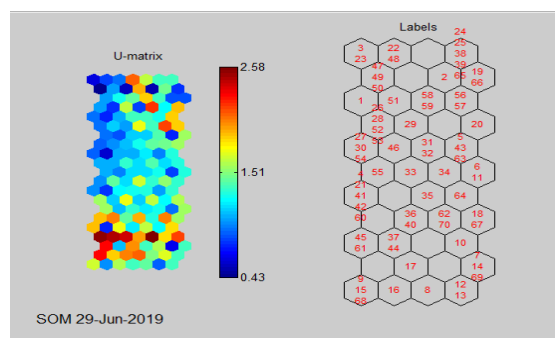
شکل ۴ ب- پایگاه داده مدل مجیک برای جاده مرطوب



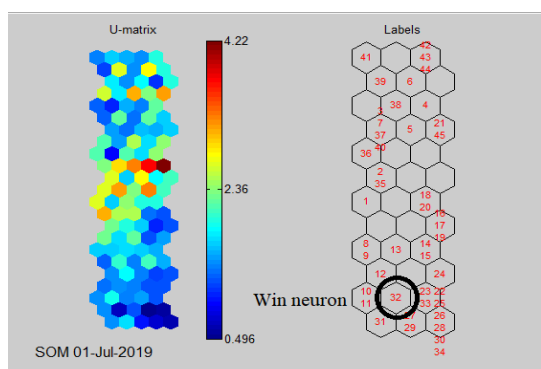
شکل ۴ الف- پایگاه داده مدل مجیک برای جاده خشک



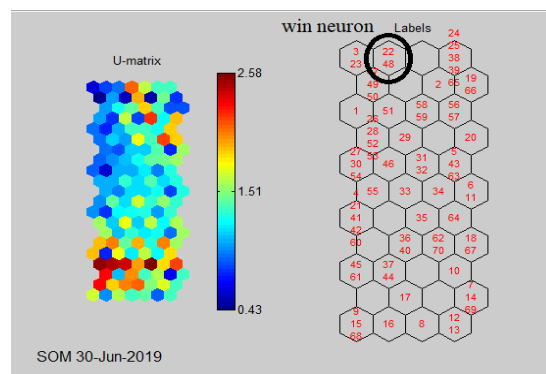
شکل ۵ ب- طبقه‌بندی داده‌ها برای جاده مرطوب



شکل ۵ الف- طبقه‌بندی داده‌ها برای جاده خشک



شکل ۶ ب- نرون برنده در جاده مرطوب



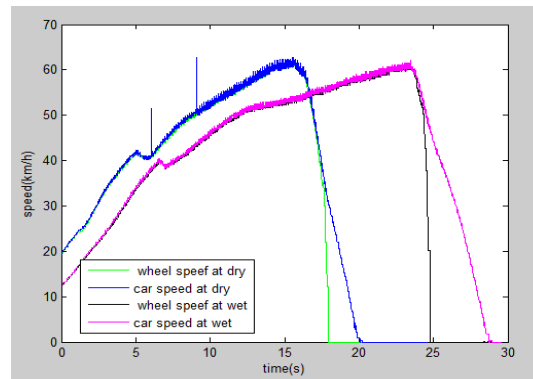
شکل ۶ الف- نرون برنده در جاده خشک

همان‌طور که در شکل (۶ الف) مشخص هست منحنی‌های (۲۲) و (۴۸) در نرون برنده جاده خشک قرار گرفته‌اند و برای به‌دست آورد پارامترهای منحنی تست باید از میانگین پارامترهای دو منحنی استفاده کرد ولی نرون برنده در جاده مرطوب فقط شامل منحنی ۳۲ می‌باشد.

## ۶- نتایج تست‌ها و تحلیل آن‌ها

تمام تحلیل‌ها در محیط برنامه متلب صورت گرفت. در شکل (۷) سرعت خودرو با سرعت چرخ در دو سطح مرطوب و خشک مقایسه شده است. ابتدا سرعت چرخ و خودرو با سرعت یکسانی افزایش یافته است سپس ترمز گرفته شده در لحظات اولیه ترمز تفاوت زیادی بین سرعت چرخ و خودرو وجود ندارد و در نتیجه لغزش بین جاده و تایر ناچیز می‌باشد و سپس اختلاف سرعت چرخ و تایر افزایش یافته و لغزش ایجاد می‌شود. در مرجع [۲۸] نیز سرعت خودرو که با استفاده از روش‌های فیلتر کالمن توسعه یافته مکرر با ورودی نامشخص و فیلتر غیرخطی تطبیقی اصلاح شده تخمین زده شده بود، با سرعت محیطی چرخ مورد مقایسه قرار دادند و نتایج مشابهی مشاهده کردند.





شکل ۷- منحنی سرعت چرخ و تایر در جاده خشک و مرطوب

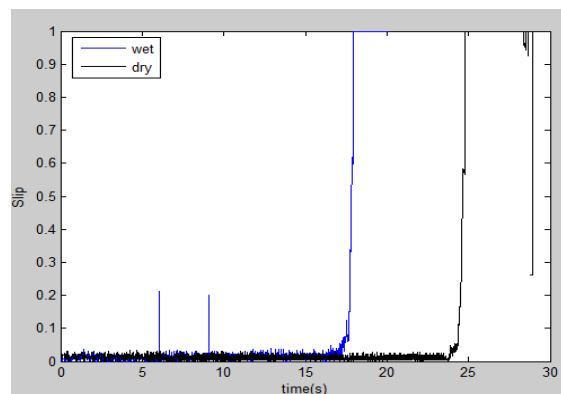
از آن جایی که لغزش زمانی اتفاق می‌افتد که بر ماکزیمم اصطکاک بین جاده و تایر غلبه شود به دلیل این که ارتباط تایر با جاده (چنگ انداختن تایر به جاده) کم می‌شود. بنابراین در جاده مرطوب اختلاف بین سرعت چرخ و تایر بیش تر از جاده خشک می‌باشد و لغزش بیشتری در جاده مرطوب نسبت به جاده خشک اتفاق می‌افتد. Aguado-Rojas و همکاران [۲۹] شیب منحنی ضریب اصطکاک با لغزش برای الگوریتم کنترل هیبریدی دو-فازی، ترمز ضدقفل استفاده کردند. Mokarram و همکاران [۳۰] از این نمودارها برای کنترل سیستم ترمز ضدقفل فازی استفاده کردند تا مقدار لغزش را در سطح مورد نظر نگه دارند و ماکزیمم نیروی کششی و ترمزی را به دست آورند. شکل (۸) مقدار لغزش را در دو سطح مرطوب و خشک بر حسب زمان نشان می‌دهد به دلیل ضریب اصطکاک کم تر در جاده مرطوب لغزش بیشتری اتفاق می‌افتد.

### پارامترهای مدل مجیک

ضریب اصطکاک بین جاده و تایر طبق مدل مجیک برای دو سطح جاده خشک و مرطوب به ترتیب از طریق معادلات (۵) و (۶) به دست می‌آید.

$$Y(X) = 0.98 \sin[1.7 \arctan[-3.6x + 2.5 \arctan(0.4x)]] \quad (5)$$

$$Y(X) = 0.68 \sin[1.85 \arctan[-2.76x + 4.1 \arctan(0.15x)]] \quad (6)$$



شکل ۸- لغزش در برابر زمان

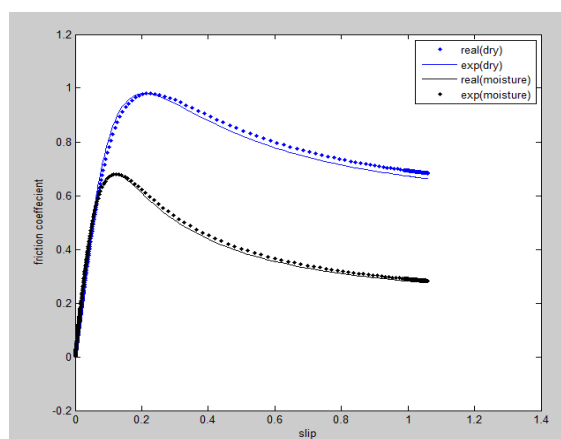
پارامترهای به‌دست آمده برای مدل مجیک در معادله فوق با پارامترهای به‌دست آمده از مرجع [۲۱] برای نیروی اصطکاک هم‌خوانی دارند و اندک اختلاف به‌دلیل تغییر شرایط و نوع دستگاه استفاده شده می‌باشد. مدل مجیک برای توصیف رفتار تایر در دینامیک وسیله بسیار دقیق می‌باشد و به‌طور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرد اما تعیین پارامترهای مدل مجیک مشکل می‌باشد.

در این مقاله از روش SOM برای به‌دست آوردن پارامترهای مدل استفاده شده است. ویژگی این نگاشت این هست که می‌تواند تعداد زیادی از منحنی‌ها را شناسایی و طبقه‌بندی کند. بنابراین با استفاده از SOM مقادیر پارامترهای مدل مجیک می‌تواند تعیین شود. قابل ذکر هست که SOM منحنی‌های بسیار شبیه از پایگاه داده را به منحنی واقعی اختصاص می‌دهد. اگر منحنی واقعی با هیچ یک از منحنی‌های پایگاه داده شباهت نداشته باشد SOM گروهی از منحنی‌ها را معرفی می‌کند بنابراین اگر میانگین منحنی‌ها محاسبه شود پارامترهای منحنی واقعی به‌دست می‌آید.

شکل (۹) منحنی ضریب اصطکاک جاده و تایر در مقابل لغزش را برای داده‌های واقعی و داده‌های مدل در دو سطح خشک و مرطوب را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشخص هست SOM توانست به دقت پارامترهای مدل مجیک را تخمین بزند و بین منحنی واقعی و مدل تطبیق خوبی وجود دارد.

Senabre و همکاران [۲۱] نیز از روش SOM برای به‌دست آوردن پارامترهای مدل مجیک روی رولر مرکز حمل و نقل و جاده صاف خشک استفاده کردند و مشاهده کردند SOM با دقت بالای پارامترهای مدل مجیک را در رولر و جاده تخمین می‌زند.

نمودار مشخص شده با رنگ آبی ضریب اصطکاک جاده خشک را در مقابل لغزش نشان می‌دهد و رنگ سیاه نمودار مرتبط به جاده مرطوب می‌باشد همان‌طور که در شکل مشخص هست ضریب اصطکاک جاده مرطوب کم‌تر از جاده خشک می‌باشد و مقدار ماکزیمم ضریب اصطکاک در جاده مرطوب در لغزش کم‌تری نسبت به جاده خشک اتفاق می‌افتد و پارامتر  $D$  در مدل مجیک که نشان دهنده‌ی مقدار ماکزیمم منحنی می‌باشد در جاده مرطوب کم‌تر از جاده خشک می‌باشد.



شکل ۹- نمودار ضریب اصطکاک بر حسب لغزش در دو سطح خشک و مرطوب با داده‌های مدل و تجربی

## ۷- نتیجه گیری کلی

در این مقاله تأثیر مهم‌ترین فاکتور، شرایط جاده‌ای (مرطوب و خشک) بر روی نیروی ترمزی و ضریب اصطکاک مورد مطالعه قرار گرفت و برای پیدا کردن پارامترهای مدل مجیک روش نگاشت‌های خود سازمان SOM پیشنهاد گردید ویژگی عمده این روش تخمین دقیق پارامترهای مدل مجیک می‌باشد. ابتدا با استفاده از ضرایب مختلف مدل مجیک پایگاه داده‌ها تشکیل شد سپس با استفاده از روش SOM منحنی عملی ضریب اصطکاک و لغزش در گروهی که بیش‌ترین شباهت و کمترین مقدار خطای میانگین مربعات خطا را داشت قرار گرفت و پارامترهای مدل مجیک به‌طور دقیق برای هر دو سطح جاده‌ای خشک و مرطوب تعیین شدند. در خاتمه مدل به‌دست آمده از این روش با داده‌های ضریب اصطکاک و لغزش که از آزمون واقعی بر روی خودروی طراحی شده توسط محققان دانشگاه مالاگا انجام گرفته بود مقایسه گردید که نتیجه آن دقت بالای روش SOM را در تعیین ضریب اصطکاک جاده خشک و مرطوب را نشان می‌دهد.

## تشکر و تقدیر

نویسندگان این پژوهش کمال تشکر و قدردانی خود را از تمامی تلاش‌ها و زحمات گروه مکانیک دانشگاه‌های مالاگا و میگل هرناندز دانشگاه اسپانیا که زمینه انجام این پژوهش را مهیا کرده اند ابراز می‌دارند.

## مراجع

- [1] Wang, J., and Longoria, R. G., "Combined Tire Slip and Slip Angle Tracking Control for Advanced Vehicle Dynamics Control Systems", Proceedings of the 45<sup>th</sup> IEEE Conference on Decision & Control, San Diego, CA, USA, pp. 1733-1738, 13-15 Dec (2006).
- [2] Aghasizade-Shaarbaf, S., and Mirzaei, M., "Identification of Tire Force Model using Experimental Data of a New Scaled Test Rig for Design of Nonlinear Slip Controller", Amirkabir J. Mech. Eng., Vol. 5, No. 1, pp. 187-200, (2018).
- [3] Wagner, P., Wriggers, P., Veltmaat, L., Clasen, H., Prange, C., and Wies, B., "Numerical Multiscale Modelling and Experimental Validation of Low Speed Rubber Friction on Rough Road Surfaces Including Hysteretic and Adhesive Effects", Tribology International, Vol. 111, pp. 243-253, (2017).
- [4] Qun Zhao, Y., Qing, Li, H., Lin, F., Wang, J., and Xue-Wu, Ji., "Estimation of Road Friction Coefficient in Different Road Conditions Based on Vehicle Braking Dynamics", Chinese Mechanical Engineering Society and Springer-Verlag Berlin Heidelberg., Vol. 30, pp. 982-990, (2017).
- [5] Khaleghiani, S.M., Emami, A., and Taheri, S., "A Technical Survey on Tire-road Friction Estimation", Friction, Vol. 5, No. 2, pp. 123-146, (2017).
- [6] Kusaka, K., and Suzuki, T., "The Statistical Tire Model and its Application to Vehicle Dynamics Design 7th IFAC Symposium on Advances in Automotive Control", The International Federation of Automatic Control, Tokyo, Japan, September 4-7 (2013).

- [7] Na, S.D., Park, D.W., and Yoo, W.S., "Rigid Ring with Bouc-Wen tire Model for Vehicle Dynamic Analysis", *Journal of Mechanical Engineering Science*, Vol. 231, No. 19, pp. 3530-3540, (2017).
- [8] Kusachov, A., Bruzelius, F., and Hjort, M., "A Double Interaction Brush Model for Snow Conditions", *Tire Science and Technology*, Vol. 47, pp. 118-140, (2019).
- [9] Rudolf, H., Bosch, B., Herman, A., Hamersma, P., and Schalk, Els., "Parameterization, Validation and Implementation of an All-terrain SUV FTire Tyre Model", *Journal of Terramechanics*, Vol. 67, pp. 11-23, (2016).
- [10] Bakker, E., Pacejka, H.B., and Lidner, L., "A New Tire Model with an Application in Vehicle Dynamics Studies", *SAE 890087*, pp. 83-95, (1989).
- [11] Ružinskas, A., and Sivilevičius, H., "Magic Formula Tyre Model Application for a Tyre-Ice Interaction", *Procedia Engineering*, Vol. 187, pp. 335-341, (2017).
- [12] Cabrera, J.A., Castillo, J. J., Pérez, J., Velasco, J. M., Guerra, A. J., and Hernández, P., "A Procedure for Determining Tire-Road Friction Characteristics using a Modification of the Magic Formula Based on Experimental Results", *Sensors*, Vol. 18, No. 3, pp. 896, (2018).
- [13] Jayachandran, R., Denis Asho, S., and Narayanan, S., "Fuzzy Logic Based Modelling and Simulation Approach for the Estimation of Tire Forces", *Procedia Engineering*, Vol. 64, pp. 1109-1118, (2013).
- [14] Cabrera, J.A., Ortiz, A., Carabiasl, E., and Simon, A., "An Alternative Method to Determine the Magic Tyre Model Parameters using Genetic Algorithms", *Vehicle System Dynamics*, Vol. 41, No. 2, pp. 109-127, (2004).
- [15] Ortiz, A., Cabrera, J. A., Guerra, A. J., and Simon, A., "An Easy Procedure to Determine Magic Formula Parameters: A Comparative Study between the Starting Value Optimization Technique and the IMM Optimization Algorithm", *Vehicle System Dynamics*, Vol. 44, No. 9, pp. 689-718, (2006).
- [16] Castro, A. A., Leal Braga, S., and Speranza Neto, M., 22nd International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2013), Ribeirão Preto, SP, Brazil, November 3-7, (2013).
- [17] Farroni, F., Lamberti, R., Mancinelli, N., and Timpone, F., "TRIP-ID: A Tool for a Smart and Interactive Identification of Pacejka Formula Tyre Model Parameters from Experimental Data Acquired on Track or Test Ring", *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 102, pp. 1-22, (2018).
- [18] Garatti, S., and Bittanti, S., "Parameter Estimation in the Pacejka's Tyre Model through the TS Method", *IFAC Proceedings Volumes*, Vol. 42, No. 10, pp. 1304-1309, (2009).
- [19] Zhang, K., Duan, Y., Yang, X., Yang, J., and Zhang, Y., "Determination of Magic Formula Tyre Model Parameters using Homotopy Optimization Approach", *SAE Technical Paper*, Vol. 01, (2020).

- [20] Vijay Alagappan, A., Narasimha Rao, K.V., and Krishna Kumar, R., "A Comparison of Various Algorithms to Extract Magic Formula Tyre Model Coefficients for Vehicle Dynamics Simulations", *Vehicle System Dynamics*, Vol. 53, No. 2, pp. 154-178, (2014).
- [21] Senabre, C., Velasco, E., and Valero, S., "Self-organizing maps" for Identification of Tire Model Longitudinal Braking Parameters of a Vehicle on a Roller Brake Tester and on Flat Ground", *Neural Comput & Applic*, Vol. 21, pp. 1775-1782, (2011).
- [22] Qian, J., Nguyen, N.P., and Oya, Y., "Introducing Self-organized Maps (SOM) as a Visualization Tool for Materials Research and Education", *Results in Materials*, Vol. 4, (2019).
- [23] Valero, S., Aparicio, J., Senabre, C., and Ortiz García, M., "Comparative Analysis of Self Organizing Maps vs. Multilayer Perceptron Neural Networks for Short-term Load Forecasting", *The work Described in this Paper is Being Supported by the Valencian Government, Department of Education under Research Project*, Vol. 22, No. 4, (2010).
- [24] Pacejka, H.B., and Besselink, I.J.M., "Magic Formula Tyre Model with Transient Properties", *Vehicle System Dynamics*, Vol. 27, pp. 243-249, (1996).
- [25] Chaudhary, V., Bhatia, R.S., and Ahlawat, K., "A Novel Self-organizing Map (SOM) Learning Algorithm with Nearest and Farthest Neurons", *Alexandria Engineering Journal*, Vol. 53, pp. 827-831, (2014).
- [26] Chaudhary, V., Bhatia, R.S., and Ahlawat, A., "The Selforganizing Map Learning Algorithm with Inactive and Relative Winning Frequency of Active Neurons", *HKIE Trans*. Vol. 21, No 1, pp. 62-67, (2014).
- [27] Lawrence, R.D., Almasi, G.S., and Rushmeier, H.E., "A Scalable Parallel Algorithm for Self-organizing Maps with Applications to Sparse Data Mining Problems", *Data Min. Knowl. Discov*. Vol. 3, No. 2, pp. 171-195, (1999).
- [28] Moaveni, B., Khosravi, M., Abad, R., Nasiri, S., and Amiri, M., "Vehicle Longitudinal Velocity Estimation using Two New Estimators and without Measuring the Braking Torque", *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 5, pp. 183-193, (2015).
- [29] Aguado-Rojas, M., WilliamPasillas-Lépine, W., and Loría, A., "A Hybrid Controller for ABS Based on Extended-braking-stiffness Estimation", *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 52 , pp. 452-457, (2019).
- [30] Mokarram, M., Khoei, A., and Hadidi, K., "A Fuzzy Anti-lock Braking System (ABS) Controller using CMOS Circuits", *Microprocessors and Microsystems*, Vol. 70, pp. 47-52, (2019).

## فهرست نمادهای انگلیسی

B : فاکتور سفتی

C : فاکتور شکل

D : مقدار ماکزیمم

E : فاکتور منحنی

$F_z$  : نیروی نرمال

$P(x)$  : تابع احتمال دانسیته برای مقادیر ورودی آنالوگ

$q_i$  : مقدار گوانتیزه

$r$  : شعاع موثر چرخ

$S_H$  : جابجایی افقی

$S_v$  : جابجایی عمودی

$t_{i-1}$  : کم‌ترین آستانه برای ورودی که مقدار گوانتیزه را ایجاد می‌کند.

$t_i$  : بالاترین آستانه

$\mu$  : ضریب اصطکاک بین جاده و تایر

$v_x$  : سرعت خودرو

$\omega$  : سرعت دورانی تایر

**Abstract**

As the forces and moments for controlling the vehicle are generated between the tire and road, Therefore the tire model is very important in the vehicle dynamic. The Pacejka's Magic Formula (MF) has become the most popular model. This model for describing the tire properties needs a set of parameters. In this paper the identifying of tire model coefficients discussed. Self-organizing maps (SOMs) was used for determining the parameters on the different road condition form high dry surface to low wet surface. The tests were taken with a vehicle that was used to conduct the real test at different road conditions. It was designed by Malaga mechanical research group. The effect of surface condition on the parameter of model discussed. A good Slip-Force ratio with the data that was not used in the network training was produced by the neural network so this method is feasible and easily obtain the parameter of each experiment on different experimental tests.