

استخراج هندسه تماس بین چرخ و ریل با استفاده از شبکه های عصبی

محور مقاله: طراحی و ساخت ناوگان بومی

نادر شکوهی^۱، حسن صیادی^۲

چکیده

استخراج هندسه و محل تماس بین چرخ و ریل یکی از پیچیده ترین و زمانگیر ترین الگوریتم ها در تحلیل دینامیکی خودروهای ریلی می باشد. در این الگوریتم، محل تماس بین چرخ و ریل، از جابجایی های ایجاد شده تحت تاثیر نیروهای دینامیکی در بستر و تغییرات درجات آزادی خودروی ریلی بسیار تاثیر می پذیرد. در این مقاله، بمنظور در نظرگیری تاثیرات دینامیک خط در محل نقطه تماس، بستر بصورت ویسکوالاستیک و ریل بصورت صلب در نظر گرفته شده است. با استفاده از یک الگوریتم جستجوگر، محل تماس بین چرخ و ریل بگونه ای استخراج گردیده که عمود بودن نیروی عکس العمل ریل و صفحه مماس در چرخ و در محل تماس تضمین گردد. با توجه به بالا بودن زمان اجرای الگوریتم جستجوگر و به منظور افزایش سرعت شبیه سازی، از یک شبکه عصبی پیش خوراند^۳ که به روش لوبنبرگ^۴ آموزش داده شده، جهت شبیه سازی استفاده گردیده است. نتایج حاصل از شبیه سازی با استفاده از شبکه عصبی، دقت شبکه آموزش داده شده را در استخراج نقطه تماس نشان می دهد.

کلمات کلیدی: هندسه تماس بین چرخ و ریل، روش الاستیک، دینامیک بستر، شبکه عصبی پیش خوراند.

۱- مقدمه

هندسه تماس بین چرخ و ریل، یکی از مهمترین پدیده های هندسی در حرکت واگن بر روی ریل می باشد. در این پدیده، عموماً از دو روش جهت بررسی هندسه تماس بین چرخ و ریل استفاده می شود. در روش اول که به روش الاستیک^۵ معروف است، چرخ نسبت به ریل دارای شش درجه آزادی بوده و نیروی عمودی بین چرخ و ریل بر اساس تئوری هرتز و یا ضرایب سختی و مستهلک کننده در سطح تماس استخراج می شود. در روش دوم که روش قیود^۶ نام دارد، با معرفی قیود غیرخطی هندسی، یک مدل پنج درجه برای چرخ نسبت به ریل بدست می آید. با توجه به مطالب فوق، امکان شبیه سازی جدایش بین چرخ و ریل در مدل الاستیک وجود خواهد داشت. از تفاوت های این دو روش می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. چگونگی تعیین نقطه تماس.
۲. روش تخمین نیروی عمودی در نقطه تماس.
۳. میزان فرورفتگی مجاز چرخ و ریل در محل تماس.

^۱ دانشجوی دکتری، دانشگاه صنعتی شریف - شرکت صنایع ریلی ایران خودرو E-mail: n_shokouhi@mech.sharif.edu

^۲ استادیار، دانشگاه صنعتی شریف - نویسنده مسئول E-mail: sayyaadi@sharif.edu

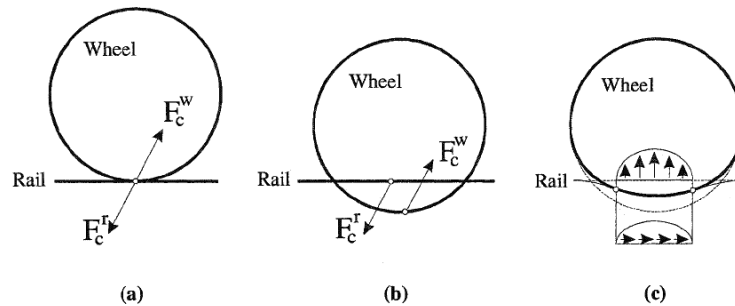
^۳ - Feed Forward Neural Network

^۴ - Levenberg-Marquardt Back-propagation

^۵ - Elastic approach

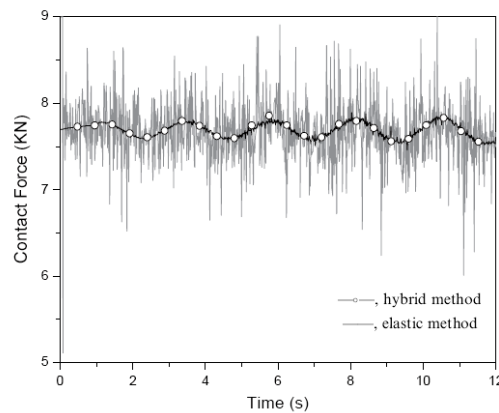
^۶ - Constraint approach

محل تماس در روش قیود، با استفاده از تضمین قیود هندسی استخراج می شود. اما در روش الاستیک با توجه به اینکه فرورفتگی بین ریل و چرخ مجاز است، نقاط تماس در چرخ و ریل، الزاماً بر روی هم منطبق نخواهند بود. در این حالت نقطه تماس یک جسم در داخل حجم فرورفتگی جسم دیگر واقع خواهد شد و نقطه تماس، به صورت نقطه ای با حداکثر عمق نفوذ انتخاب می شود. شکل ۱، شماتیک روش الاستیک، روش قیود و شرایط واقعی را نشان می دهد.



شکل ۱: هندسه تماس - a: قیود، b: الاستیک، c: شرایط واقعی [۱]

نیروی عمودی در روش قیود، با استفاده از تضمین قیود هندسی و بهره گیری از نیروهای عکس العمل بین چرخ و ریل (ضرایب لاگرانژ) استخراج می شود. به این صورت، نیروهای تماسی، برقرای تماس را بین دو جسم تضمین می نمایند. اما در روش الاستیک، نیروی عمودی به صورت تابعی از عمق نفوذ دو جسم در یکدیگر بدست می آید. شکل ۲ نیروی عمودی بدست آمده با استفاده از روش الاستیک و روش ترکیبی را نشان می دهد. در روش ترکیبی، نقطه تماس اول با استفاده از روش قیود و نقطه تماس دوم (لبه فلنج و ریل) با استفاده از روش الاستیک استخراج شده است.



شکل ۲: نیروی عمودی حاصل از دور روش الاستیک و ترکیبی (قیودی + الاستیک) [۱]

همانطور که مشخص است، نیروی تماسی حاصل از روش الاستیک، دارای نویز بوده که در روش ترکیبی این نوسانات مشاهده نمی شوند.

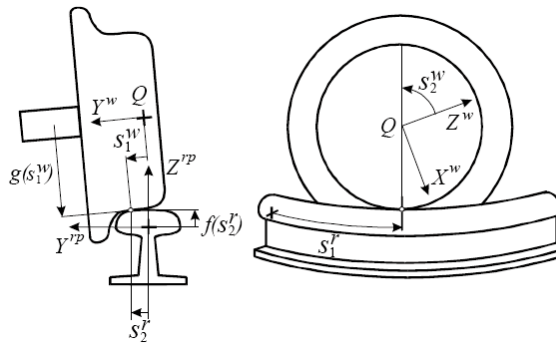
در مقاله ای که در پیش رو دارید، با توجه به در نظر گیری بستر به صورت ویسکوالاستیک، نیروی عمودی تماسی با استفاده از درجات آزادی در نظر گرفته شده برای بستر استخراج می شود. بدین صورت میزان فرورفتگی بین ریل و چرخ، بر اساس تئوری هرتز و سختی و ضریب استهلاک بین چرخ و ریل قابل استخراج خواهد بود. به این صورت، از ایجاد نوسانات فرکانس بالا در نیروی عمودی در محل تماس اجتناب خواهد شد.

۲- هندسه تماس چرخ و ریل

با توجه به برقراری تماس بین چرخ و ریل در صفحه، عموماً بمنظور فرموله کردن هندسه تماس در هر یک از سطوح چرخ و ریل مطابق شکل ۳، از دو پارامتر سطح که توسط شابانا [۲] ارائه شده است، استفاده می شود. هندسه تماس در ریل با استفاده از دو پارامتر سطح S_1^r و S_2^r و هندسه تماس در چرخ با استفاده از دو پارامتر سطح S_1^w و S_2^w قابل بررسی بوده و بدین صورت، با مشخص بودن پارامترهای تماس در هر جسم، نقطه تماس قابل استخراج خواهد بود.

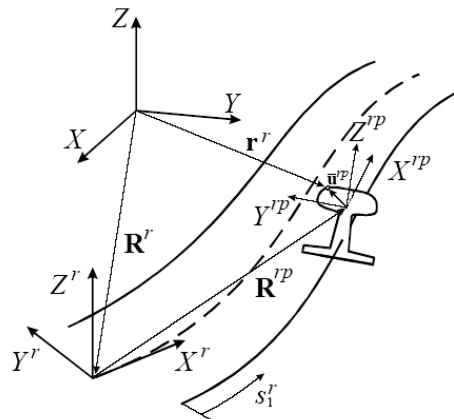
$$\bar{u}^l = \bar{u}^l(S_1^l, S_2^l) \quad (1)$$

در این معادله، $l = w \text{ or } r$ بوده که بیانگر موقعیت نقطه تماس در چرخ یا ریل می باشد.



شکل ۳: پارامترهای سطح چرخ و ریل [۱]

شکل ۴ نشان دهنده هندسه ریل در نظر گرفته شده می باشد. با استفاده از دو پارامتر تماس که بیانگر طول ریل طی شده (S_1^r) و پروفیل ریل (S_2^r) می باشند، استخراج نقطه تماس امکان پذیر خواهد شد.



شکل ۴: هندسه خط [۱]

محورهای مختصات ارائه شده در شکل ۴ عبارتند از:

- محور مختصات منطبق بر پروفیل ریل $(X^{rp} Y^{rp} Z^{rp})$.
- محور مختصات منطبق بر ریل $(X^r Y^r Z^r)$.
- محور مختصات صلب (XYZ) .

بر اساس هندسه ارائه شده در شکل ۴، موقعیت نقطه تماس به صورت زیر مشخص خواهد شد:

$$r^r = R^r + A^r (R^{rp} + A^{rp} \bar{u}^{rp}) \quad (2)$$

$$R^{rp} = R^{rp}(s_1^r) \quad (3)$$

$$A^{rp} = A^{rp}(s_1^r) \quad (4)$$

$$\bar{u}^{rp} = [0 \quad s_2^r \quad f(s_2^r)]^T \quad (5)$$

در معادلات فوق، R^{rp} و A^{rp} ، موقعیت و راستای مختصات پروفیل ریل نسبت به مختصات ریل، R^r و A^r ، موقعیت و راستای مختصات ریل نسبت به مختصات صلب و \bar{u}^{rp} موقعیت نقطه تماس در محور مختصات پروفیل ریل می باشند. همچنین تابع f بیانگر تابع پروفیل ریل خواهد بود.

هندسه چرخ در شکل ۵ نشان داده شده است. براساس مشخصات ارائه شده در شکل ۳، پارامتر s_1^w بیانگر پروفیل چرخ و پارامتر s_2^w بیانگر چرخش نقطه تماس می باشد که در مختصات چرخ معرفی می گردند. مختصات معرفی شده در شکل ۵ عبارتند از:

- محور مختصات میانی چرخ ($X^{wi} Y^{wi} Z^{wi}$).
- محور مختصات متصل به چرخ ($X^w Y^w Z^w$).
- محور مختصات صلب (XYZ).

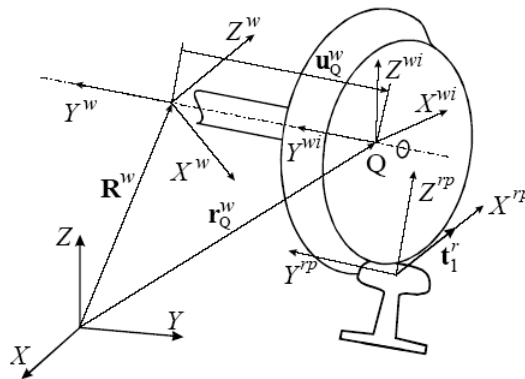
موقعیت مرکز و راستای محور مختصات متصل به چرخ با استفاده از R^w و A^w مشخص خواهند شد که در این صورت، موقعیت نقطه تماس برابر است با:

$$r^w = R^w + A^w \bar{u}^w \quad (6)$$

در این معادله، \bar{u}^w موقعیت نقطه تماس در محور مختصات متصل به چرخ می باشد. این بردار در چرخ راست برابر است با:

$$\bar{u}^w = [g(s_1^w) \sin s_2^w \quad -L + s_1^w \quad g(s_1^w) \cos s_2^w]^T \quad (7)$$

در این معادله، g بیانگر پروفیل چرخ و L برابر نصف فاصله مرکز دو چرخ از یکدیگر بوده و نقطه Q در مرکز دو چرخ بصورت انتخابی [۱] برگزیده می شود.



شکل ۵: هندسه چرخ [۲]

۲-۱- استخراج نقطه تماس

استخراج نقطه تماس با استفاده از روش ارائه شده توسط شابانا [۲] انجام شده است. ابتدا بمنظور محاسبه طولی از ریل که توسط چرخ پیموده شده، از تصویر سرعت نقطه Q (انتخاب شده بر روی محور چرخ) در راستای امتداد طولی ریل استفاده می شود.

$$u_Q^w = r_Q^w - R^w \quad (8)$$

$$\dot{r}_Q^w = \dot{R}^w + \omega^w \times u_Q^w \quad (9)$$

$$\dot{s}_1^r = \dot{r}_Q^w \cdot \frac{\partial u^r}{\partial s_1^r} = \dot{r}_Q^w \cdot t_1^r \quad (10)$$

در معادله ۱۰، ω^w سرعت زاویه ای چرخ نسبت به سیستم مختصات عمومی صلب بوده و t_1^r بردار یک مماس بر سطح در نقطه تماس و در محور مختصات متصل به ریل می باشد. با انتگرال گیری از معادله دیفرانسیل ۱۱، s_1^r مشخص خواهد گردید. با مشخص شدن این پارامتر، ماتریسهای R^{rp} و A^{rp} قابل استخراج خواهند بود. در این حالت، لازم است بمنظور شبیه سازی خودروی ریلی و استخراج هندسه تماس، معادله فوق به تعداد چرخها حل گردد.

بمنظور محاسبه زاویه دوران نقطه تماس چرخ (s_2^w)، یک دستگاه مختصات میانی $X^{wi} Y^{wi} Z^{wi}$ ، که در شکل ۵ نشان داده شده است، معرفی می گردد. این دستگاه مختصات که به چرخ متصل نبوده و حول محور Y^w دوران نمی کند، به صورت زیر معرفی خواهد شد.

۱. محور Y^{wi} همراستا با محور Y^w خواهد بود. بدین صورت هر دو محور مختصات دارای زوایای Roll و Yaw یکسانی خواهند بود.

۲. راستای بردار یک محور X^{wi} به صورت زیر معرفی می شود.

$$i^{wi} = j^{wi} \times k^{rp} \quad (11)$$

در این معادله، j^{wi} بردار یک محور Y^{wi} و k^{rp} بردار یک Z^{rp} (شکل ۵) می باشند.

۳. راستای سوم محور مختصات نیز به صورت زیر قابل محاسبه خواهد بود.

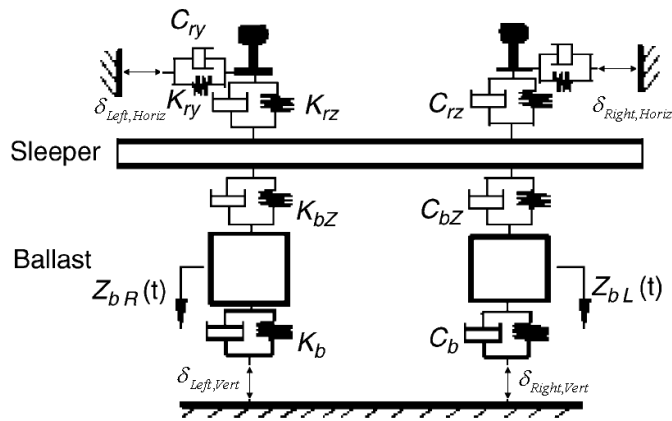
$$k^{wi} = i^{wi} \times j^{wi} \quad (12)$$

فرض می شود نقطه تماس در صفحه تشکیل شده توسط Y^{wi} و Z^{wi} قرار داشته باشد [۲]. در این صورت پارامتر s_2^w برابر زاویه بین محور Z^w و Z^{wi} خواهد بود.

در مرحله جستجو برای یافتن نقاط تماس، پروفیل ریل و چرخ مش بندی شده و فاصله بین گره های مختلف مش، محاسبه و نزدیکترین نقاط به یکدیگر مشخص می شوند. این نقاط در گروه هایی دسته بندی و بدین صورت امکان درنظر گرفتن تماس دو نقطه ای نیز میسر می گردد. با استخراج چهار پارامتر s_1^r ، s_2^r ، s_1^w و s_2^w ، هندسه تماس در چرخ و ریل مشخص و شش درجه آزادی برای مجموعه چرخ و محور تامین خواهد شد.

۳- مدل بستر

در این تحقیق، به منظور درنظرگیری رفتار واقعی بستر، از مدل جین [۳] استفاده گردیده است. در این مدل، اعوجاجات ناشی از حرکت بوژی بر روی ریل در هنگام پیچ پیمایی شبیه سازی شده است. در مقاله حاضر، با توجه به اینکه رفتار چرخ و ریل در مسیر مستقیم مورد بررسی قرار گرفته، تغییرات زاویه Roll تراورس و تغییر ارتفاع بالاست ریل چپ و راست نسبت به یکدیگر صرف نظر و شکل ساده تری از مدل جین مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۶). جدول ۱ مقادیر عددی پارامترهای بستر را بر اساس مرجع [۳] نشان می دهد.



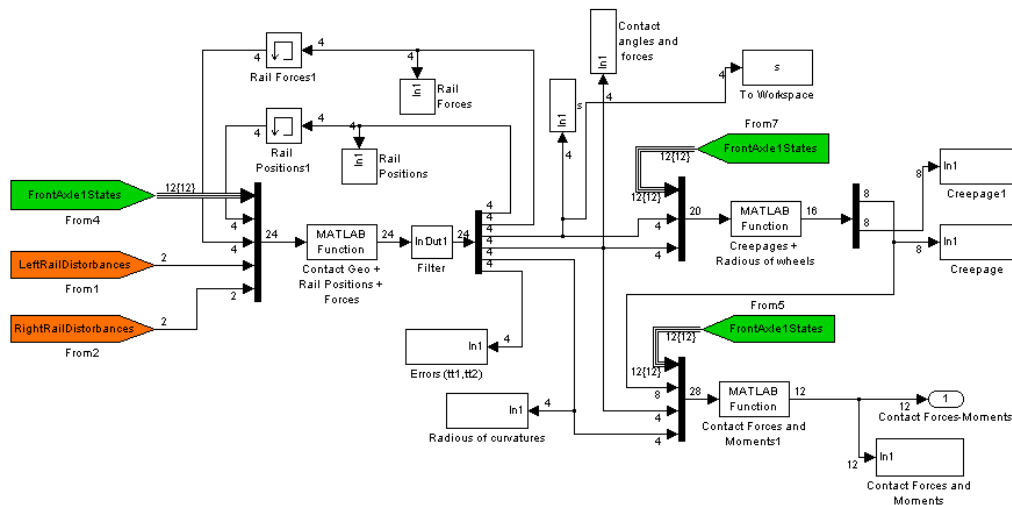
شکل ۶: شماتیک مدل بستر بر اساس مرجع [۳]

جدول ۱: مقادیر عددی پارامترهای بستر [۳]

Parameters	Values
K_{ry} (N/m)	2.947×10^7
K_{rz} (N/m)	7.8×10^7
K_{sy} (N/m)	3.0×10^7
K_{sz} (N/m)	7.0×10^7
K_w (N/m)	7.8×10^7
K_{bz} (N/m)	6.5×10^7
C_{ry} (Nsm ⁻¹)	5.0×10^4
C_{rz} (Nsm ⁻¹)	5.0×10^4
C_{sy} (Nsm ⁻¹)	6.0×10^4
C_{sz} (Nsm ⁻¹)	6.0×10^4
C_w (Nsm ⁻¹)	8.0×10^4
C_{bz} (Nsm ⁻¹)	3.1×10^4

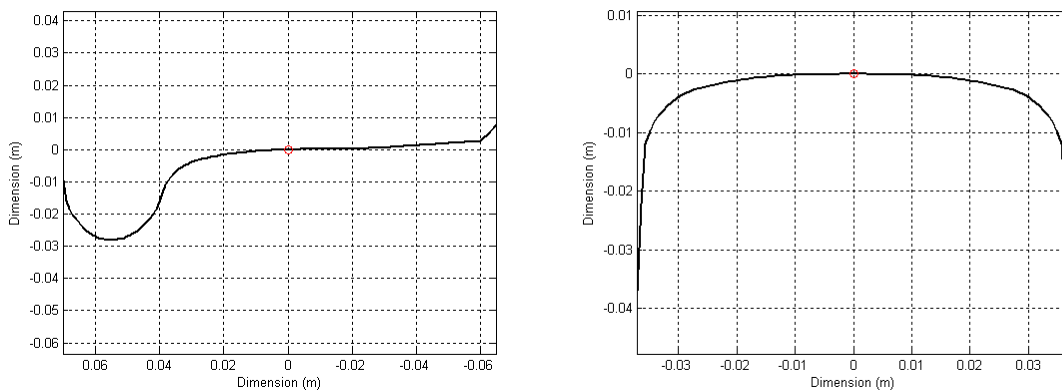
۴- مدل سازی تماس بین چرخ و ریل

بر اساس روابط فوق، مدل کامل هندسه تماس و نیروهای تماسی بر اساس تئوری پلاخ [۴] در محیط matlab/simulink شبیه سازی شده است. شکل ۷، مدل شبیه ساز هندسه تماس چرخ و ریل را نشان می دهد.



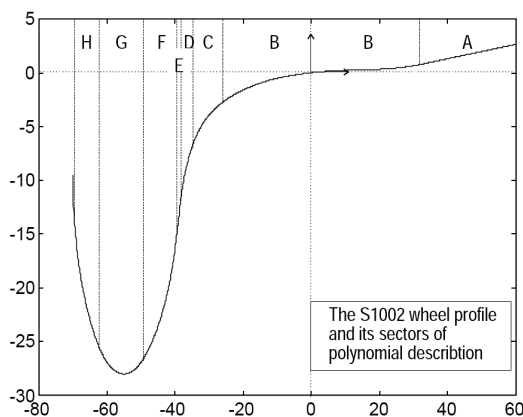
شکل ۷: مدل شبیه ساز هندسه تماس چرخ و ریل

در این مدل، متغیرهای حالت چرخ-محور (شامل موقعیت و سرعت) و نیز نامیزانی های هندسی بستر برای ریل چپ و راست در نظر گرفته شده اند. پروفیل چرخ و ریل مطابق شکل ۸ برابر S1002 و UIC60 می باشند.



شکل ۸: پروفیل چرخ S1002 و ریل UIC60

بر طبق شکل ۹، معادلات استفاده شده برای استخراج پروفیل چرخ S1002 بر اساس مرجع [۵] به شرح زیر می باشند:



شکل ۹: پروفیل چرخ S1002 [۵]

$$\text{Section A: } F(s) = a_A - b_A s$$

$$\text{Section B: } F(s) = a_B - b_B s + c_B s^2 - d_B s^3 + e_B s^4 - f_B s^5 + g_B s^6 - h_B s^7 + i_B s^8$$

$$\text{Section C: } F(s) = -a_C - b_C s - c_C s^2 - d_C s^3 - e_C s^4 - f_C s^5 - g_C s^6 - h_C s^7$$

$$\text{Section D: } F(s) = a_D - \sqrt{b_D^2 - (s + c_D)^2} \quad (13)$$

$$\text{Section E: } F(s) = -a_E - b_E s$$

$$\text{Section F: } F(s) = a_F + \sqrt{b_F^2 - (s + c_F)^2}$$

$$\text{Section G: } F(s) = a_G + \sqrt{b_G^2 - (s + c_G)^2}$$

$$\text{Section H: } F(s) = a_H + \sqrt{b_H^2 - (s + c_H)^2}$$

ضرایب معرفی شده در معادلات فوق و نیز محدوده دقیق S در هر ناحیه در جدول ۲ و ۳ ارائه شده اند.

جدول ۲: ضرایب مربوط به پروفیل چرخ [۵]

	A	B	C	D
a	1.364323640	0.0	$4.320221063 \times 10^{+3}$	16.446
b	0.066666667	$3.358537058 \times 10^{-2}$	$1.038384026 \times 10^{+3}$	13.
c	—	$1.565681624 \times 10^{-3}$	$1.065501873 \times 10^{+2}$	26.210665
d	—	$2.810427944 \times 10^{-5}$	$6.051367875 \times 10^{+0}$	—
e	—	$5.844240864 \times 10^{-8}$	$2.054332446 \times 10^{-1}$	—
f	—	$1.562379023 \times 10^{-8}$	$4.169739389 \times 10^{-3}$	—
g	—	$5.309217349 \times 10^{-15}$	$4.687195829 \times 10^{-5}$	—
h	—	$5.957839843 \times 10^{-12}$	$2.252755540 \times 10^{-7}$	—
i	—	$2.646656573 \times 10^{-13}$	—	—
ξ_{\min}	32.15796	-26	-35	-38.426669071
ξ_{\max}	60	32.15796	-26	-35

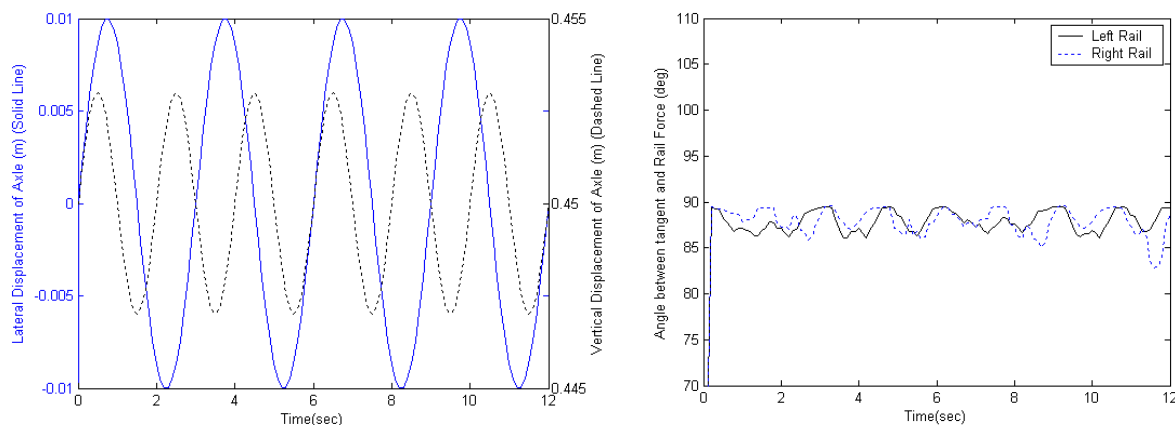
جدول ۳: ضرایب مربوط به پروفیل چرخ [۵]

	E	F	G	H
a	93.576667419	8.834924130	16.	9.519259302
b	2.747477419	20	12.	20.5
c	—	58.558326413	55.	49.5
ξ_{\min}	-39.764473993	-49.662510381	-62.764705882	-70.0
ξ_{\max}	-38.426669071	-39.764473993	-49.662510381	-62.764705882

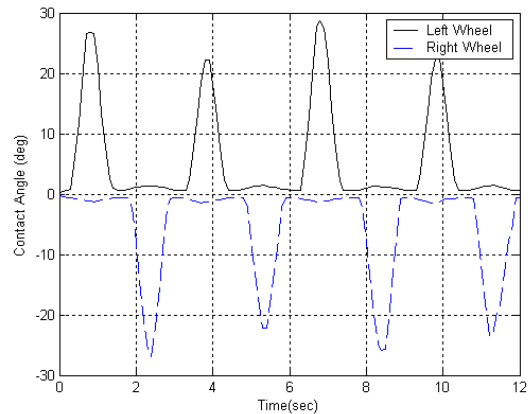
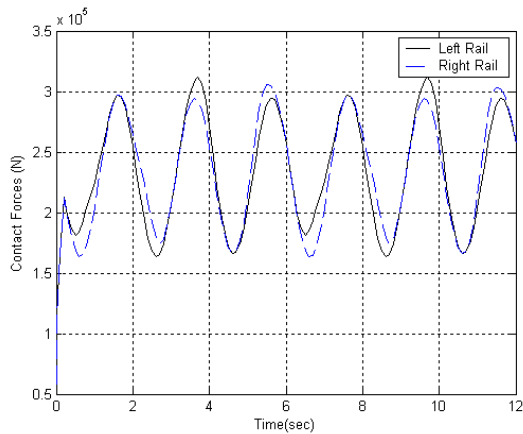
با توجه به تقارن پروفیل ریل UIC 60، هندسه این پروفیل بر اساس معادلات ارائه شده توسط آلن [۷]، بصورت زیر مشخص می شوند:

$$\begin{aligned}
 IF \ 0 \leq s \leq 10.5 & \Rightarrow F(s) = \sqrt{300^2 - s^2} \\
 IF \ 10.5 < s \leq 26.005 & \Rightarrow F(s) = 219.865 + \sqrt{80^2 - (|s| - 7.7)^2} \\
 IF \ 26.005 < s \leq 36.0 & \Rightarrow F(s) = 285.0773 + \sqrt{13^2 - (|s| - 23.0304)^2} \\
 IF \ 36.0 < s \leq 37.15 & \Rightarrow F(s) = 285.965824 - 20(|s| - 36)
 \end{aligned} \tag{۱۴}$$

که در آن s بیانگر فاصله نقطه سطح ریل از محور تقارن عمودی ریل می باشد. با مشخص بودن هندسه چرخ و ریل، با استفاده از یک الگوریتم جستجو، نقطه تماس بین چرخ و ریل قابل استخراج خواهد بود. در این الگوریتم، محل تماس بگونه ای استخراج می شود تا نیروی عکس العمل ریل بر صفحه مماس بر چرخ در نقطه تماس عمود باشد. بمنظور بررسی صحت عملکرد مدل پیاده سازی شده، پاسخ مدل به ورودی سینوسی با فرکانس دو و سه هرتز به تغییر در متغیرهای حالت جانبی و قائم محور بررسی شده که نتایج در شکل های ۱۰ و ۱۱ ارائه گردیده اند. همانطور که مشخص است، الگوریتم جستجو به خوبی توانسته است عمود بودن نیروی عکس العمل در ریل و صفحه مماس بر چرخ در محل نقطه تماس را تضمین نماید.

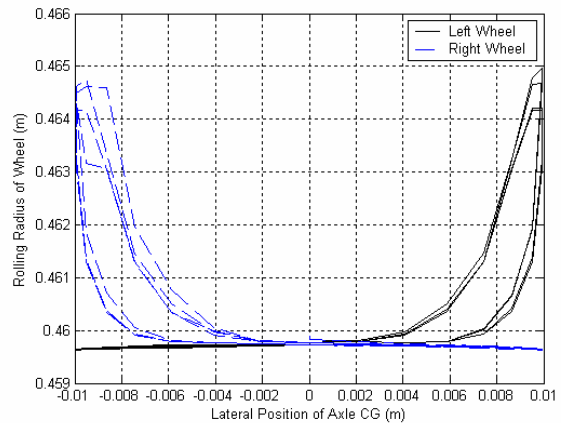
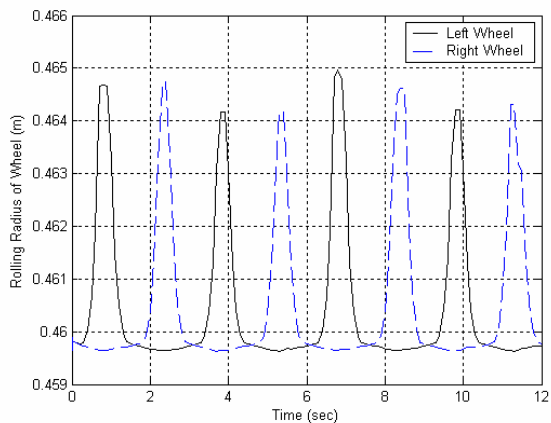


شکل ۱۰: ورودی مرجع محور (سمت چپ) - زاویه نیروی عکس العمل ریل و صفحه مماس در چرخ (سمت راست)



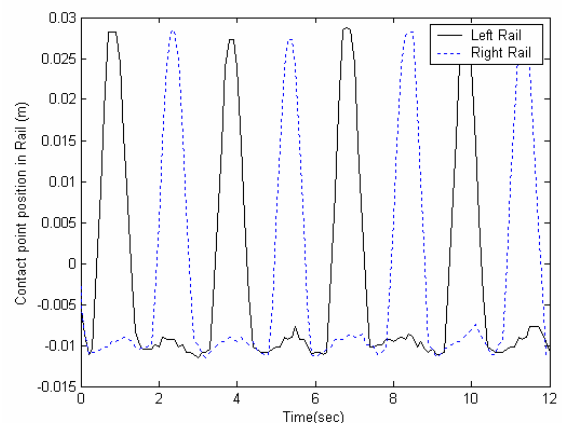
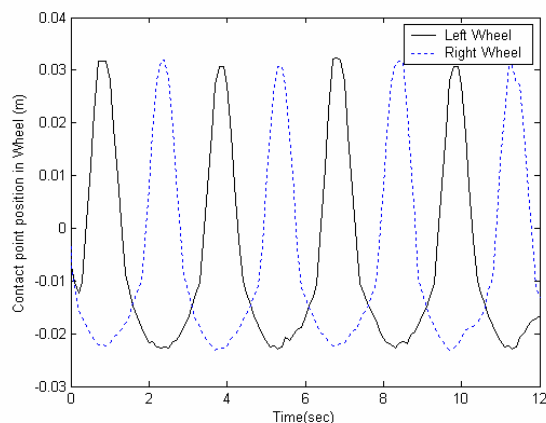
شکل ۱۱: نیرو و زاویه تماس در چرخ های چپ و راست

با توجه به اینکه در این قسمت تنها تغییر سینوسی در متغیر های حالت قائم و جانبی مطابق شکل ۱۰ در نظر گرفته شده است، نیروی نرمال در ریل که عموماً متأثر از جابجایی قائم در ریل می باشد، در هر دو ریل سمت چپ و راست برابر خواهد بود. همچنین به دلیل حرکت سینوسی عرضی محور، زاویه تماس در دو چرخ با یک اختلاف فاز تکرار می شود (شکل ۱۱). شعاع چرخش چرخ چپ و راست در حرکت عرضی و قائم نوسانی محور در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲: شعاع چرخش موثر چرخش چرخ چپ و راست

همانطور که در شکل ۱۲ مشخص است، با توجه به وجود یک درجه آزادی برای حرکت عرضی ریل، شعاع موثر در حرکت به سمت چپ و راست متفاوت خواهد بود. این شعاع ها بر اساس موقعیت نقطه تماس در چرخ چپ و راست که در شکل ۱۳ ارائه شده اند، قابل محاسبه می باشند.

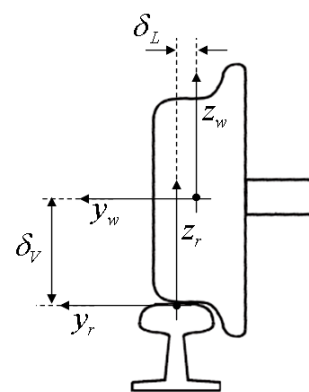
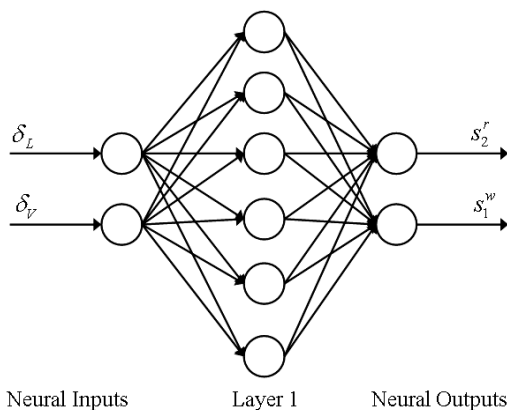


شکل ۱۳: نقطه تماس در چرخ و ریل

در مدل ارائه شده در شکل ۷، پس از محاسبه هندسه تماس به روش فوق، خزشهای طولی، عرضی و چرخشی در هر چرخ محاسبه شده و نیروهای تماسی بر اساس تئوری پلاخ استخراج می شوند.

۵- استخراج نقطه تماس با استفاده از شبکه های عصبی

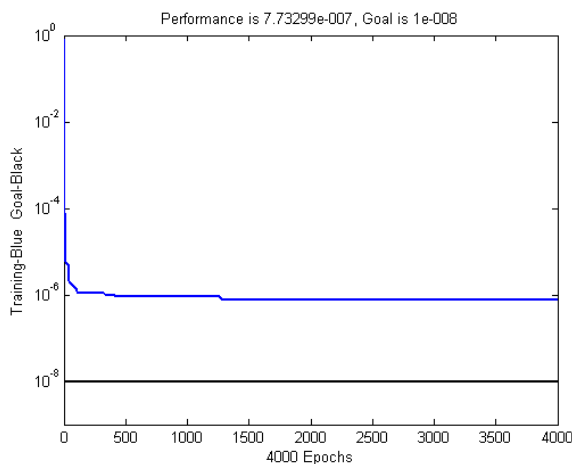
با توجه به زمان بر بودن تعیین نقطه تماس با استفاده از الگوریتم جستجو، استخراج هندسه تماس با استفاده از شبکه عصبی مورد توجه قرار گرفت. با توجه به اینکه هندسه تماس با مشخص بودن موقعیت عرضی نقطه مرجع هر چرخ و نیز ارتفاع آن از سطح ریل قابل استخراج خواهد بود، لذا با در نظر گیری دو ورودی شامل موقعیت عرضی و قائم نقطه مرجع در هر چرخ، امکان شبیه سازی هندسه تماس وجود خواهد داشت. شکل های ۱۴ و ۱۵ دو متغیر δ_V و δ_L که در هندسه تماس موثر هستند و شبکه عصبی در نظر گرفته شده را نشان می دهند.



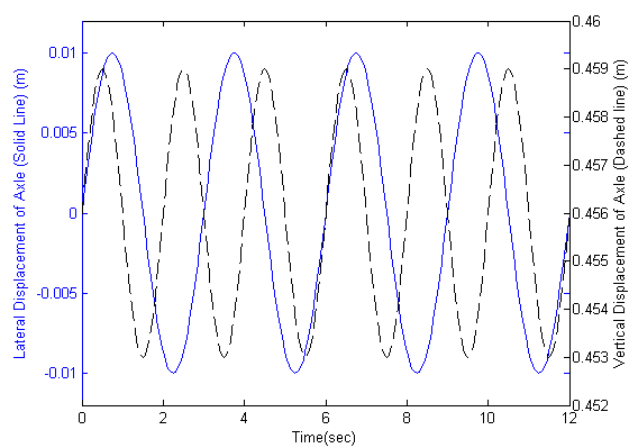
شکل ۱۴: پارامترهای موثر در هندسه تماس δ_V & δ_L

شکل ۱۵: شبکه عصبی پیش خوراند در نظر گرفته شده

شکل ۱۶ ورودی در نظر گرفته شده برای آموزش شبکه عصبی را نشان می دهد. این ورودی به گونه ای انتخاب شده است که حداقل شامل دو دوره تناوب از هر ورودی بوده و در محدوده واقعی تغییرات متغیرهای حالت محور قرار داشته باشد.



شکل ۱۷: نمودار خطای شبکه در هنگام آموزش

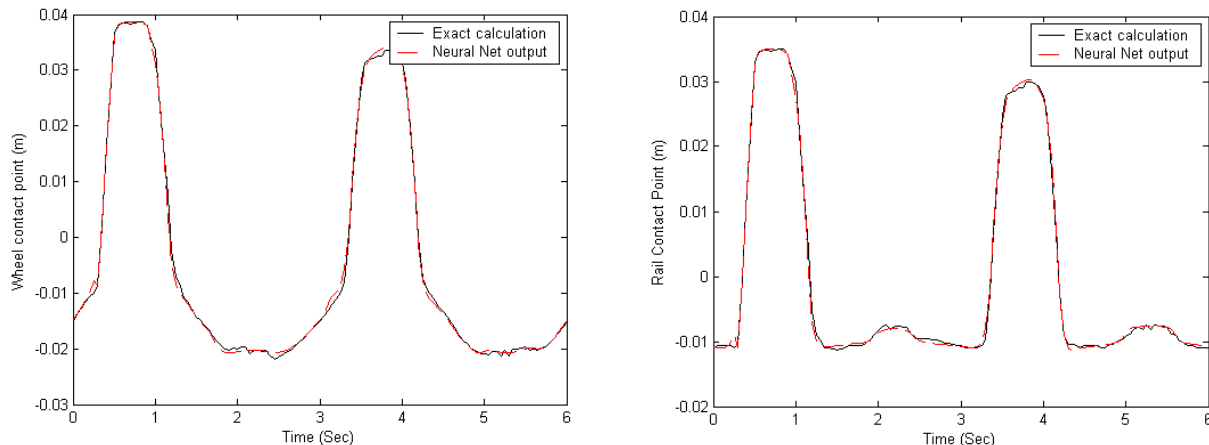


شکل ۱۶: ورودی مدل بمنظور استخراج داده و آموزش شبکه

شبکه عصبی در نظر گرفته شده بمنظور استخراج نقطه تماس در چرخ و ریل، یک شبکه پیشخوراند بوده و دارای دو ورودی، شش نرون در لایه اول و دو نرون در لایه خروجی می باشد. همچنین بمنظور آموزش شبکه از روش لوببرگ استفاده

شده است. این روش نسبت به شرایط اولیه کمتر حساس بوده و بسیار سریع به همگرایی مناسب می رسد. خطای خروجی شبکه که به روش مجموع مربع خطاها^۱ محاسبه شده است در شکل ۱۷ نشان داده شده است.

موقعیت تماس چرخ و ریل که توسط محاسبات دقیق و شبکه عصبی که بر اساس ورودی های ارائه شده در شکل ۱۶ محاسبه شده اند در شکل ۱۸ ارائه شده است. نتایج بدست آمده از شبکه عصبی و حل دقیق، نشان می دهند که شبکه آموزش داده شده، توانسته است به خوبی رفتار چرخ و ریل را مدل سازی نموده و هندسه تماس را بر اساس پارامترهای موثر در محل



شکل ۱۸: موقعیت تماس در چرخ و ریل محاسبه شده با شبکه عصبی و محاسبات دقیق

۶- نتایج

این تحقیق بخش مقدماتی از تلاشی است که در شرکت صنایع ریلی ایران خودرو جهت شناسایی و بررسی تاثیر پارامترهای مختلف خودروی ریلی بر راحتی سفر مسافران در حال انجام می باشد. بدین منظور مدل کاملی از خودروی ریلی که شامل معادلات غیر خطی بیان کننده رفتار تمامی المانها می باشد استخراج گردید. با توجه به پیچیدگی معادلات بیان کننده دینامیک خودروی ریلی و اجزای سیستم تعلیق، استفاده از شبکه های عصبی جهت استخراج هندسه تماس (که یکی از پرمحاسبه ترین بخش های شبیه سازی می باشد)، به جهت افزایش سرعت شبیه سازی مورد توجه قرار گرفت. نتایج شبیه سازی هندسه تماس با استفاده از شبکه عصبی، نشان دهنده دقت شبکه عصبی می باشد. با استفاده از شبکه عصبی آموزش داده شده، سرعت شبیه سازی بسیار افزایش یافته و امکان بررسی در زمان واقعی^۲ رفتار سیستم مهیا می شود. لذا استفاده از شبکه های عصبی در تحلیل های هندسی و دینامیکی و در شرایطی که حجم محاسبات بسیار بالا می باشد، می تواند راه گشای خوبی جهت افزایش سرعت شبیه سازی باشد.

مراجع

- [1]. Shabana A. A., Zaazaa Kh. E., "Development of elastic force model for wheel/rail contact problems", Journal of Sound and Vibration 2004; 269: 295-325.
- [2]. Shabana A. A., Tobaa M., Sugiyama H., Zaazaa Kh. E., "On the Computer Formulations of the Wheel/Rail Contact Problem", Journal of Nonlinear Dynamics 2005; 40 169-193.
- [3]. Jin X.S., Wen Z.F., "Effect of passenger car curving on rail corrugation at a curved track", Journal of Wear 2006; 260: 619-633.
- [4]. Polach O., "A fast wheel-rail forces calculation computer code", Journal of Vehicle system dynamics 1999, Issue suppl.; 33: 728-739.
- [5]. FMN100-03 report, Numerical analysis, center for mathematical science, Lunds University.
- [6]. Allen P., "Models for dynamic simulation of tank track components", PhD dissertation, Cranfield University, Academic Year 2005-2006.

¹ - Mean Squared Error

² - Real Time