مجله مهندسی مکانیک مدرس، آذر 1393، دوره 14، شماره 9، ص‌ص 165-174

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

تحلیل رانندگی در حین خواب‌آلودگی بر اساس متغیرهای فرمان و موقعیت عرضی خودرو در شبیه‌ساز رانندگی سواری

محمدرضا آشوری موثق[1]، علی نحوی[2*]، شهرام آزادی[3]، مهرشاد نیک‌نژاد[4]، علی صادقی[5]

1- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
2- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
3- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
4- دانش آموخته کارشناسی، مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
5- آزمایشگاه واقعیت مجازی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
* تهران، صندوق پستی 19395-1999، nahvi@kntu.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 02 بهمن 1392
پذیرش: 10 خرداد 1393
ارائه در سایت: 02 مهر 1393

کلید واژگان:
تشخیص خواب‌آلودگی
شبیه‌ساز رانندگی
فرمان
موقعیت عرضی

چکیده

خواب‌آلودگی رانندگان یکی از علل مهم تصادفات شدید می‌باشد و بر اساس آمار، خواب‌آلودگی علت 30% تا 37% سوانح جاده‌ای منجر به فوت در ایران است. در این مطالعه از اطلاعات خودرو و جاده مبتنی بر فرمان و موقعیت عرضی خودرو جهت تشخیص خواب‌آلودگی راننده‌ها استفاده شده‌است. آزمایشات بر روی راننده‌های سواری در شبیه‌ساز رانندگی انجام شد. شرکت‌کنندگان از بین راننده‌های مرد 21 تا 28 ساله و با میزان تمایل به خواب بالا (10 ≤ شاخص خواب‌آلودگی اِپ ورث) انتخاب شدند. سناریو شامل رانندگی بر روی جاده یکنواخت مجازی در دو حالت هوشیار و خواب‌آلوده بود. از معیار خواب‌آلودگی کَرولینسکا و ارزیابی تصاویر ویدیویی راننده‌ها توسط ناظرین آزمایش جهت صحه‌گذاری بر نتایج آزمایشات استفاده شد. نتایج نشان دادند که منحنی فاز غربیلک فرمان (شاخص بیضی)، انحراف معیار زاویه فرمان، انحراف معیار موقعیت عرضی و میانگین موقعیت عرضی خودرو با خواب‌آلودگی راننده‌ها رابطه مستقیم دارند. انتخاب آستانه خواب‌آلودگی برای هر یک از شاخصه‌ها بر مبنای کمینه کردن اعلام هشدار برای خطاهای مثبت انجام گرفت. دقت تشخیص خواب‌آلودگی برای شاخص بیضی 77%، انحراف معیار زاویه فرمان 76%، انحراف معیار موقعیت عرضی 67% و برای میانگین موقعیت عرضی 65% بدست آمد.

Drowsy Driving Analysis Based on Steering & Lane Position Variables Using Passenger Driving Simulator

Mohammad reza Ashouri[1], Ali Nahvi[2*], Shahram Azadi[3], Mehrshad Niknejad[4], Ali Sadeghi[5]

1- Department of Mechanical Engineering, Khajeh Nasir Toosi University of Technology, Tehran, Iran
2- Department of Mechanical Engineering, Khajeh Nasir Toosi University of Technology, Tehran, Iran
3- Department of Mechanical Engineering, Khajeh Nasir Toosi University of Technology, Tehran, Iran
4- Department of Computer Engineering, Khajeh Nasir Toosi University of Technology, Tehran, Iran
3- Department of Mechanical Engineering, Khajeh Nasir Toosi University of Technology, Tehran, Iran
* P.O.B. 19395-1999, Tehran, Iran, nahvi@kntu.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 22 January 2014
Accepted 31 May 2014
Available Online 24 September 2014

Keywords:
Drowsy driving
steering
lane departure
driving simulator

ABSTRACT

Drowsy driving is a main cause of severe accidents. Drowsiness is responsible for 30% to 37% of fatal road accident in Iran. In this paper, driver drowsiness is detected based on features related to the steering wheel angle and the lateral position of the vehicle. Data from the vehicle and the virtual road are used to extract drowsiness features. Experimental results using a driving simulator are presented. Participants were 21 to 28 year-old males with a high tendency to sleep (Epworth Sleepiness Scale≥10). The subjects had to drive a lane keeping scenario on a long and monotonous virtual road in both drowsy and alert states. The drowsiness criteria are validated with Karolinska Sleepiness Scale (KSS) and video rating based on KSS measurements. The results illustrate that the phase diagram of the steering wheel angle (Ellipse criterion), the standard deviation of the steering wheel angle, and the mean and the standard deviation of the lateral position of the vehicle are highly correlated with drowsiness. The accuracy of the diagnosis was 77% for the Ellipse criterion, 76% for the standard deviation of the steering wheel angle, 67% for the standard deviation of the lateral position, and 65% for the mean value of the lateral position.

1- مقدمه

1-1- ضرورت بحث

سوانح جاده‌ای هشتمین عامل مرگ و میر انسان‌ها در سرتاسر جهان و اولین عامل مرگ جوانان 15 تا 29 ساله اعلام شده‌است. همچنین پیش‌بینی شده است این رتبه هشتم تا سال 2030 به رتبه پنجم برسد [1]. انجمن اتومبیل آمریکا تخمین زده‌است که یکی از هر شش تصادف مرگبار (16/5%) و یکی از

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:
M. R. Ashouri, A. Nahvi, Sh. Azadi, M. Niknejad, A. Sadeghi, Drowsy Driving Analysis Based on Steering & Lane Position Variables Using Passenger Driving Simulator, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 9, pp. 165-174, 2014 (In Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.9.12.7]

هر هشت تصادف رخ داده (12/5%) به علت خواب‌آلودگی رانندگان بوده‌است [2]. مؤسسه ملی خواب در آمریکا اعلام کرده 60% افراد هنگامی که خواب‌آلوده هستند، به رانندگی پشت فرمان ادامه می‌دهند. بر اساس این گزارش 37% رانندگان به رانندگی در حین خواب‌آلودگی خود اذعان دارند. این در حالی است که اغلب رانندگان نمی‌توانند متوجه خواب‌آلودگی خود پشت فرمان شوند [3]. طبق آمارهای منتشر شده از سوی دفتر ایمنی و ترافیک سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای کشور در سال 1391، سوانح رانندگی در سرتاسر ایران سبب کشته شدن 19,089 نفر و مجروح شدن 318,802 نفر شده‌است [4]. پژوهش و توسعه فن‌آوری‌های تشخیص خواب‌آلودگی و هشدار به راننده و کنترل وضعیت خودرو نقش مهمی در کاهش چنین تصادفاتی ایفا می‌کند.

2-1- روش‌های تشخیص خواب‌آلودگی

در انواع سیستم‌های هشدار دهنده خواب‌آلودگی، از روش‌های مختلفی به منظور تشخیص سطح خستگی و خواب‌آلودگی راننده استفاده می‌شود. انواع این روش‌ها را می‌توان از نظر روش اندازه‌گیری به چهار دسته تقسیم نمود:

1- تحلیل سیگنال‌های حیاتی (بیولوژیکی) راننده مانند امواج مغزی[1]، قلبی[2]، چشمی[3]، عضلانی[4]، مقاومت الکتریکی پوست، دمای پوست و میزان اکسیژن موجود در خون [5]؛

2- تحلیل تصویری چهره و حرکات فیزیکی راننده با کمک روش‌های پردازش تصویر مانند وضعیت پلک‌ها، خیرگی، خمیازه، افتادگی سر، مالش صورت و جابجایی بر روی صندلی [6]؛

3- تحلیل متغیرهای خودرویی که مقادیر آن‌ها توسط واحد کنترل الکترونیکی[5] یا سنسورهای نصب شده بر روی ادوات کنترلی خودرو مانند فرمان، پدال گاز، پدال ترمز، دنده، نمایش‌گرهای پنل و غیره اندازه‌گیری می‌شود [7]؛

4- استفاده از اطلاعات جاده و خودرو مانند موقعیت و جهت‌گیری خودرو در بین خطوط [8].

در بین انواع این روش‌ها، امواج مغزی از معتبرترین آن‌ها جهت سنجش میزان خواب‌آلودگی و خستگی می‌باشد [9]؛ اما به سبب مزاحمت آن برای راننده معمولاً از آن برای اهداف پژوهشی و صحه‌گذاری بر نتیجه آزمایشاتِ سایر روش‌ها استفاده می‌گردد.

بررسی وضعیت چشم‌ها از دقت بالایی برخوردار می‌باشد؛ اما گرفتن تصویر صورت راننده به گونه‌ای که مزاحم دید وی نشود، در برخی موارد کار پرچالشی است. تغییرات در شرایط نور، انعکاس نور محیط بر روی عینک، کالیبراسیون، تنظیم زاویه دوربین و برخی موارد دیگر می‌تواند تأثیر جدی بر عملکرد سیستم‌های پردازش کننده‌ی تصویر بگذارد.

مزیت دسته سوم، در دسترس بودن اغلب سنسورهای مورد نیاز در خودروها به ویژه خودروهای مدرن است؛ که از انواع این داده‌ها برای سایر سیستم‌های هوشمند مانند دستیار راننده، کنترل پایداری و ایمنی فعال خودرو استفاده می‌کنند. به علاوه این که، شرایط محیطی تأثیری در اندازه‌گیری این پارامترها ندارد.

دسته چهارم پارامترها نیازمند ابزارهایی مانند دوربین و انواع اسکنرهای محیطی جهت مشاهده و شناسایی خطوط جاده و موانع است. بهبود وضعیت خط‌کشی‌ها، استاندارد شدن جاده‌ها، رشد و توسعه و کاهش قیمت حسگرهای مشاهده‌گرِ محیط سبب شده‌است، استفاده از این روش در خودروهای مدرن امروزی رشد چشمگیری داشته باشد. به علاوه، با توسعه و افزایش دقت در سیستم‌های موقعیت‌یابی خودرو توسط GPS، می‌توان به برخی از پارامترهای آن بدون نیاز به مشاهده‌ی جاده دست پیدا کرد.

پارامترهای وابسته به خودرو (دسته 3 و 4) به دلیل غیر مزاحم بودن روش اندازه‌گیری آن برای راننده و مؤثر بودن آن در تشخیص سایر پدیده‌های اختلال‌گر در عملکرد راننده (مانند اثر مصرف الکل، سوء مصرف مواد مخدر و محرک، حواس‌پرتی، خشم، خستگی و ...)، چشم‌انداز روشنی در توسعه سیستم‌های دستیار راننده دارند.

با توجه به مطالب عنوان شده، استفاده از متغیرهای خودرویی مبنای تشخیص الگوی رانندگی رانندگان خواب‌آلوده قرار گرفت. در بخش 2 به معرفی شاخصه‌های وابسته به فرمان، موقعیت عرضی و ارتباط آن‌ها با یکدیگر پرداخته شده‌است. در بخش 3 شبیه‌ساز مورد استفاده در آزمایشات و روش آزمایش شرح داده شده‌است. انتخاب داده‌ها و ارزیابی شاخص‌های معرفی شده‌ی بخش 2، در بخش 4 انجام شده‌است. در بخش 5 نیز به جمع‌بندی و پیشنهاد برای کارهای آینده پرداخته شده‌است.

2- تشخیص خواب‌آلودگی به کمک پارامترهای دینامیکی خودرو

نشان داده شده است بیش از نیمی از تصادفات مرتبط با خواب‌آلودگی تصادفاتی بوده‌اند که در آن یک وسیله نقلیه‌ی تنها از مسیر خود خارج شده‌است. در تصادفات ناشی از خواب‌آلودگی، تصادفات ناشی از خروج از مسیر خودروهای تک در غیاب سایر خودروها، هفت برابر بیش‌تر از سایر انواع تصادفات ناشی از خواب‌آلودگی بوده‌است [2]. این می‌تواند بدان معنی باشد که عدم توانایی راننده در کنترل فرمان و حفظ موقعیت خودرو بین خطوط جاده، در اثر خواب‌آلودگی و در شرایط عدم حضور سایر وسایل نقلیه، یکی از عوامل مهم تأثیرگذار در بروز چنین حوادثی است. با افزایش مدت زمان رانندگی، توانایی‌های تعقیب مسیر رانندگان کاهش می‌یابد [10]. مطالعات مختلف نشان داده‌اند بین متغیرهای وابسته به فرمان، موقعیت عرضی خودرو و خواب‌آلودگی رانندگان رابطه وجود دارد [8].

با توجه به اهمیت پارامترهای وابسته به فرمان و موقعیت عرضی در خروج از مسیر خودرو در حین خواب‌آلودگی، که در این بخش و بخش پیشین به آن اشاره شد، برخی شاخصه‌های مرتبط با فرمان و موقعیت عرضی در این پژوهش مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند. در ادامه این بخش به بیان ارتباط موقعیت عرضی خودرو با زاویه فرمان و معرفی برخی شاخصه‌های وابسته به آن پرداخته شده‌است.

2-1- رابطه بین موقعیت عرضی خودرو و زاویه فرمان

رابطه بین شتاب جانبی خودرو و زاویه چرخ از طریق معادله 1 تعیین می‌شود [11]:

$$a_y = \frac{g}{K_{us}}\left(\delta - \frac{rL}{V}\right) \quad (1)$$

که در آن K_{us} ضریب کم‌فرمانی خودرو است و تابعی از زاویه لغزش چرخ‌های جلو و عقب (α_f و α_r) می‌باشد. δ زاویه چرخ‌های جلو، L فاصله بین محور

1- Electroencephalography (EEG)
2- Electrocardiography (ECG or EKG)
3- Electrosomnography (EOG)
4- Electromyography (EMG)
5- Electronic Control Unit (ECU)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.9.12.7]

عقب و جلو، r نرخ تغییرات زاویه سمت[1]، V سرعت خودرو و g شتاب جاذبه است (شکل 1).

با فرض ثابت بودن سرعت خودرو، نرخ تغییرات زاویه سمت و دو بار انتگرال‌گیری از رابطه 1 رابطه 2 به دست می‌آید:

$$l_{\mathrm{p}} = \iint a_{\mathrm{y}}\, dt^2 = \iint (A\delta - B)dt^2$$
$$A = \frac{g}{K_{\mathrm{us}}} \quad , \quad B = \frac{g}{K_{\mathrm{us}}} \cdot \frac{rL}{V} \qquad (2)$$

رابطه 2 نشان می‌دهد که موقعیت عرضی خودرو با دو بار انتگرال زمانی از زاویه چرخ متناسب است ($l_{\mathrm{p}} \sim \iint \delta dt^2$). از طرفی زاویه غربیلک فرمان و زاویه‌ی چرخ نیز از طریق رابطه‌ی سینماتیکی معادله 3 با هم مرتبط هستند:

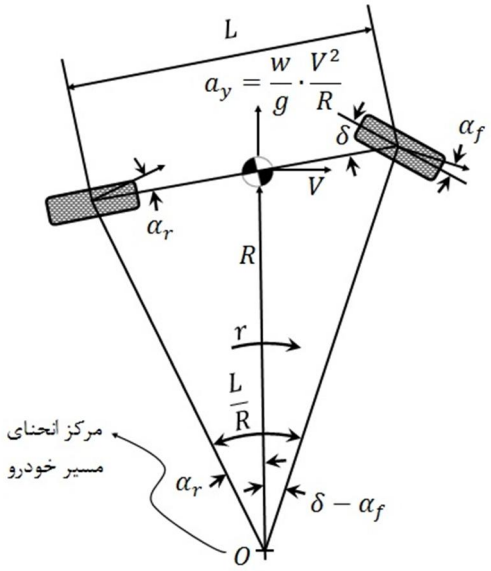
$$\delta = n_{\mathrm{p}}\theta \qquad (3)$$

در رابطه 3، θ زاویه‌ی غربیلک فرمان و n_{p} نسبت تبدیل فرمان است. با توجه به روابط 2 و 3 می‌توان نتیجه گرفت که موقعیت عرضی خودرو با دو بار انتگرال زمانی از زاویه فرمان متناسب است ($l_{\mathrm{p}} \sim \iint \theta dt^2$).

زاویه فرمان مستقیماً با عملکرد کنترلی راننده مرتبط است. از طرف دیگر، همان‌طور که نشان داده شد، موقعیت عرضی خودرو به طور غیرمستقیم با انتگرال دوگانه زمانی از زاویه فرمان متناسب است. برخی ویژگی‌های دینامیک بالای زاویه فرمان توسط این انتگرال‌گیری مکرر عملاً فیلتر می‌شوند. بنابر این، برای بررسی محتویات فرکانس بالای رفتار راننده زاویه‌ی فرمان مرجح است. برای بررسی محتویات فرکانس پایین رفتار راننده استفاده از موقعیت عرضی مرجح است.

2-2- شاخصه‌های وابسته به فرمان

شاخص بیضی: منحنی فاز فرمان روش مناسبی برای بررسی عملکرد راننده است. منحنی فاز، نمودار سرعت زاویه‌ای فرمان بر حسب زاویه‌ی فرمان است. داده‌های تجمع یافته حول مبدأ، نمایان‌گر کنترل سفت و سخت فرمان است و می‌تواند نشان‌دهنده‌ی هوشیاری راننده باشد. با فاصله گرفتن این نقاط از مبدأ، احتمال اختلال در عملکرد فرمان‌دهی راننده افزایش می‌یابد. بر اساس معیار بیضی، با رسم بیضی که بر داده‌های هوشیار در منحنی فاز محیط



شکل 1 مدل هندلینگ خودروی دو محور در حالت دائمی (غیر متغیر با زمان) [11]

1- Yaw Rate

می‌توان مرز بین هوشیاری و خواب‌آلودگی را مشخص کرد. نقاط درون بیضی مربوط به وضعیت هوشیار راننده و نقاط خارج از آن بیان‌گر خواب‌آلودگی راننده است. شاخص بیضی طبق رابطه 4 تعریف می‌شود [12]:

$$(\theta)^2 + (\frac{\dot{\theta}}{a})^2 < K^2 \Rightarrow \text{هوشیار}$$
$$(\theta)^2 + (\frac{\dot{\theta}}{a})^2 > K^2 \Rightarrow \text{خواب‌آلوده} \qquad (4)$$

در رابطه 4، K آستانه‌ی خواب‌آلودگی و ثابت a ضریب یکسان سازی اهمیت اثر سرعت زاویه‌ای فرمان و زاویه فرمان است. به عنوان مثال اگر زاویه‌ی deg 10 به عنوان زاویه‌ی بزرگ برای فرمان‌دهی و سرعت زاویه‌ای deg/s 10 به عنوان سرعت زاویه‌ای بزرگ فرض شود؛ ضریب یکسان‌سازی اثر، a، برابر 4 خواهد بود. عملاً a فرکانس غالب فرمان‌دهی است و واحد آن s^{-1} است.

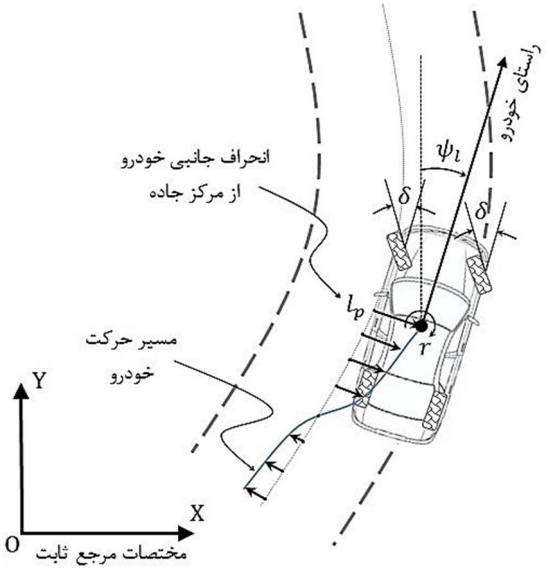
انحراف معیار زاویه فرمان: انحراف معیار[2] زاویه فرمان می‌تواند جهت پیش‌بینی خواب‌آلودگی رانندگان مورد استفاده قرار گیرد. یکی از مشکلات این شاخص این است که انحنای مسیر اثرات قابل ملاحظه‌ای در آن داشته و به همین دلیل تنها در جاده‌های صاف قابل استفاده است. بررسی این خصیصه برای هر مایل رانندگی می‌تواند این مشکل را تا حدی برطرف کند [12].

2-3- شاخصه‌های وابسته به مسیر

انحراف عرضی خودرو نسبت به خط مرکزی جاده (l_{p})، در شکل 2 نشان داده شده‌است. در این شکل δ زاویه چرخ، ψ_l زاویه سمت خودرو و r نرخ تغییرات زاویه سمت است.

انحراف معیار موقعیت عرضی: مستقیم‌ترین معیار جهت بررسی میزان مارپیچ حرکت کردن یک خودرو انحراف معیار موقعیت عرضی آن است. بر این اساس و بنا بر آنچه پیش‌تر در مورد ویژگی‌های راننده خواب‌آلوده بیان شد، هرچه نوسانات عرضی خودرو از مسیر اصلی حرکتش بیشتر باشد، انحراف معیار موقعیت عرضی آن نیز بیش‌تر و در نتیجه راننده خواب‌آلوده است [13].

میانگین موقعیت عرضی: تئوری‌هایی وجود دارند که در آن عنوان شده متوسط موقعیت عرضی می‌تواند به عنوان یک شاخص جهت تشخیص خواب‌آلودگی به کار رود. در پروژه سِیو[3] (یک برنامه ایمنی ترافیک)، متوسط



شکل 2 نمایش شماتیک انحراف از مسیر خودرو

2- Standard Deviation (STD)
3- System for effective Assessment of the driver state and Vehicle control in Emergency situations (SAVE)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.9.12.7]

موقعیت عرضی در محدوده‌های زمانی معین برای پیش‌بینی خواب‌آلودگی راننده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این تحقیقات نشان دادند، راننده‌ها در رانندگی‌های طولانی بیش‌تر به سمت راست مسیر متمایل بودند.

3- آزمایشات

3-1- شبیه‌ساز رانندگی

شبیه‌ساز رانندگی مورد استفاده در آزمایشات منطبق بر بدنه و دینامیک خودروی پژو 405 بوده و در آزمایشگاه واقعیت مجازی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی طراحی و ساخته شده‌است (شکل 3) [14].

این شبیه‌ساز سکو ثابت بوده و دارای گشتاور فیدبک فرمان است. اطلاعات مربوط به ورودی‌های کنترلی راننده، مانند زاویه غربیلک فرمان، میزان فشردگی پدال‌ها و وضعیت دسته دنده توسط حسگرهای نصب شده در دستگاه شبیه‌ساز، مستقیماً اندازه‌گیری می‌شوند. داده‌های دینامیکی و موقعیت خودرو در جاده از حل معادلات دینامیکی مدل ریاضی خودرو در نرم‌افزار شبیه‌ساز حاصل می‌گردد. مدل دینامیکی شبیه‌ساز یک مدل 14 درجه آزادی است که شامل 6 درجه آزادی حرکت بدنه (3 درجه برای حرکت‌های خطی و 3 درجه برای حرکت‌های دورانی بدنه)، 4 درجه آزادی برای سیستم تعلیق در هر چرخ و 4 درجه آزادی برای دوران چرخ‌هاست.

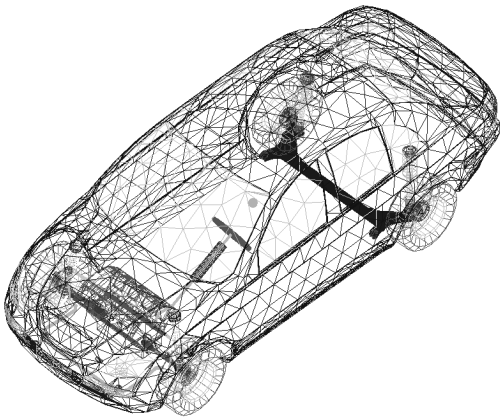
اعتبارسنجی مدل خودروی شبیه‌ساز بر اساس یک مدل خودروی 251 درجه آزادی در نرم‌افزار آدَمز[1] انجام شد. صحه‌گذاری مدل 251 درجه آزادی، پیش‌تر توسط داده‌های تست تجربی در خودروی واقعی انجام شده بود [16،15]. اجزای مختلف این مدل در شکل‌های 4 تا 7 نشان داده شده‌است.

شکل 3 شبیه‌ساز رانندگی سکو ثابت پژو 405

شکل 4 سیستم تعلیق جلو، مک فرسون، شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار آدَمز

شکل 5 سیستم تعلیق عقب، کامپاوند، شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار آدَمز

شکل 6 سیستم فرمان رک- پینیون، شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار آدَمز



شکل 7 مدل کامل خودروی 251 درجه آزادی در نرم‌افزار آدَمز

تست اعتبارسنجی مدل فرمان‌دهی شامل دو مانور مختلف رانندگی بود که به طور یکسان بر روی هر دو مدل دینامیکی شبیه‌ساز رانندگی و مدل 251 درجه آزادی آدَمز پیاده‌سازی شدند.

در مانور اول زمانی‌که اتومبیل با سرعت ثابت 70 کیلومتر بر ساعت در حال حرکت بود، ورودی پله به میزان 70 درجه در غربیلک فرمان ایجاد گردید.

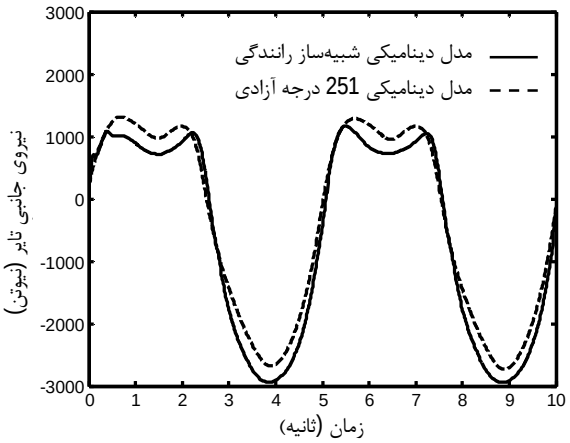
در مانور دوم زمانی‌که اتومبیل با سرعت ثابت 70 کیلومتر بر ساعت در حال حرکت بود، جابه‌جایی سینوسی با فرکانس 0/25 هرتز و دامنه 70 درجه در غربیلک فرمان ایجاد شد.

پارامترهای دینامیکی دو مدل از قبیل سرعت طولی، سرعت عرضی، نرخ تغییرات زاویه سمت، نیروها و گشتاورهای وارده بر تایرها و گشتاور وارده بر غربیلک فرمان با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج مقایسه‌ها حاکی از تطبیقی خوب میان مدل دینامیکی شبیه‌ساز و مدل دینامیکی 251 درجه آزادی آدَمز بود. به دلیل محدودیت فضا در اینجا، از آوردن کامل نمودارهای تست اعتبار

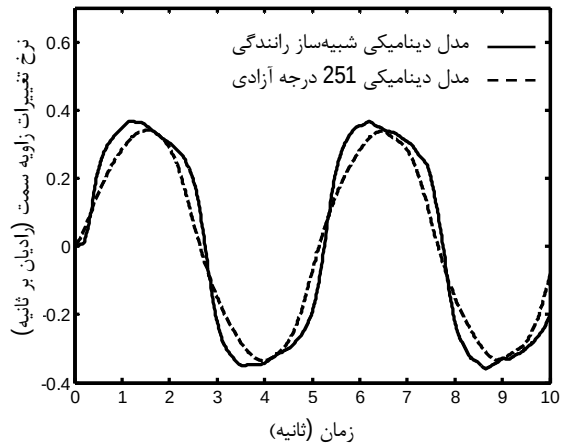
1- ADAMS

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

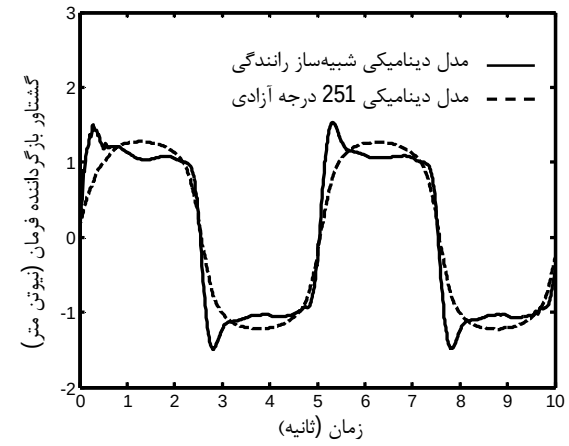
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.9.12.7]



شکل 8 نمودار مقایسه‌ای نیروی جانبی وارده بر تایر جلو راست در تست اعتبار سنجی مدل دینامیکی به ازای ورودی سینوسی به غربیلک فرمان



شکل 9 نمودار مقایسه‌ای نرخ تغییرات زاویه سمت در تست اعتبار سنجی مدل دینامیکی به ازای ورودی سینوسی به غربیلک فرمان



شکل 10 نمودار مقایسه‌ای گشتاور بازگرداننده غربیلک فرمان در تست اعتبار سنجی مدل دینامیکی به ازای ورودی سینوسی به غربیلک فرمان

سنجی خودداری شده‌است و تنها برخی نتایج مربوط به مانور تست دوم در نمودارهای شکل‌های 8 تا 10 آورده شده‌است.

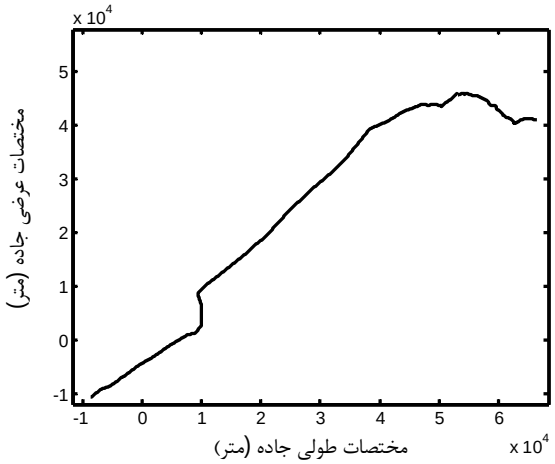
3-2- روش آزمایش

سناریو شامل رانندگی پیوسته بر روی یک جاده مجازی به طول 107 کیلومتر و بدون حضور ترافیک بود. این جاده از اتصال سه بخش از جاده‌های برون شهری ایران، ترکیبی از مسیر اتوبانی و کوهستانی، تشکیل شده‌بود. دو بخش ابتدایی مسیر، اتوبانی و قسمتی از جاده قم-مشهد به مسافت 79 کیلومتر بود. بخش انتهایی مسیر نیز 26 کیلومتر از جاده مریوان-سنندج بود. مناظر اطراف این جاده‌ها منطبق بر واقعیت نبودند و با هدف ایجاد خستگی در راننده‌ها، یکنواخت طراحی شدند. وظیفه راننده، رانندگی پیوسته بین خطوط باند انتهایی مسیر در همه بخش‌ها و حفظ سرعت مجاز طبق تابلوهای محدودیت سرعت بود. در شکل 11 نقشه کل مسیر و در شکل 12 مشخصات هر بخش به طور جداگانه آورده شده‌است .

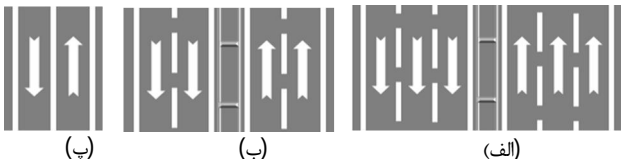
شرکت کنندگان از بین رانندگان مرد، بین 21 تا 28 سال سن، غیر سیگاری، غیر معتاد، دارای الگوی منظم خواب روزانه و عاری از اختلالات خواب، حداقل 2 سال سابقه رانندگی و دارای تجربه رانندگی در جاده‌های بین شهری انتخاب شدند. تعداد کل شرکت کنندگان در آزمایش 20 نفر و مطالعات به صورت یکسو کور[1] و کاملاً داوطلبانه انجام شد.

جهت ارزیابی میزان تمایل به خواب رانندگان، گرایش به خواب آن‌ها توسط آزمون خواب‌آلودگی اِپ وُرث[2] سنجیده شد [17]. این آزمون شامل 8 سؤال 4 گزینه‌ای جهت ارزیابی کلی وضعیت خواب افراد در زندگی روزمره و هنگام انجام فعالیت‌های ویژه است. به منظور دستیابی هرچه سریع‌تر به وضعیت خواب‌آلودگی در طول آزمایش و یکسان‌سازی اثر تمایل به خواب رانندگان، از افراد مستعد خواب‌آلودگی که بر اساس این معیار نمره 10 به بالا را کسب کرده بودند استفاده شد.

به منظور کنترل شرایط خواب و خوراک، جدول "ثبت اطلاعات خواب و



شکل 11 نقشه مسیر تست



شکل 12 (الف) بخش اول مسیر، اتوبانی، سه بانده، مسافت 52 km و محدودیت سرعت 120 km/s، (ب) بخش دوم مسیر، اتوبانی، دو بانده، مسافت 29 km و محدودیت سرعت 120 km/s، (پ) بخش سوم مسیر، جاده کوهستانی، یک بانده، مسافت 26 km و محدودیت سرعت 60 km/s.

1- Single Blinded
2- Epworth Sleepiness Scale (ESS)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.9.12.7]

خوراک" در اختیار داوطلب قرار گرفت و از آن‌ها خواسته شد به مدت یک هفته قبل از زمان اجرای آزمایش این جدول را پیگیری و تکمیل نمایند. رانندگان داوطلب در روز آزمایش به سؤالات یک پرسشنامه در خصوص مشخصات دموگرافی، سوابق پزشکی و رانندگی پاسخ دادند و فرم رضایت‌نامه حضور در آزمایشات را امضا کردند. آزمایشات در آزمایشگاه واقعیت مجازی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی اجرا شدند. تست‌ها در یک اتاق آرام کنترل شده از لحاظ دما، صدا و دارای روشنایی ثابت و برای هر راننده در دو نوبت انجام گرفت. آزمایشات مرحله اول در روز، بین ساعات 9:00 تا 11:00 صبح و در هوشیاری کامل پس از یک خواب شبانه کامل (بین 7 تا 8 ساعت) صورت پذیرفت. آزمایشات نوبت دوم پس از نیمه شب، بین ساعات 2:00 تا 5:00 صبح روز بعد و به همراه 18 ساعت محرومیت از خواب انجام شد. رانندگان در فاصله بین تست‌های اول و دوم تحت مراقبت بودند و از مصرف نوشیدنی‌های کافئین‌دار و چرت زدن در این مدت منع شدند. پیش از شروع آزمایشات، رانندگان به مدت 10 دقیقه در یک مسیر آزمایشی که برای قلق‌گیری طراحی شده بود، رانندگی کردند. در این مدت راننده‌ها مهارت لازم را در خصوص رانندگی با شبیه‌ساز بدست آورده و وضعیت آن‌ها از حیث بروز احتمالی ناخوشی مجازی[1] بررسی می‌شد. هیچ یک از رانندگان دچار عوارض ناشی از آن نشدند.

معیار معتبر خود ارزیابی کرولینسکا[2] برای سنجش میزان خواب‌آلودگی راننده‌ها استفاده شد [18]. همچنین از این معیار برای صحه‌گذاری نتایج، در بخش تحلیل داده‌ها استفاده خواهد شد. بر اساس معیار KSS رانندگان در حین رانندگی و هر 10 دقیقه یک‌بار با مشاهده پیغام "میزان خواب‌آلودگی؟" بر روی صفحه نمایش‌گر شبیه‌ساز، به خواب‌آلودگی خود از بین اعداد 1 تا 9 نمره دهی می‌کردند. نتایج آزمایشات پایلوت نشان دادند که ممکن است راننده‌ها با وجود توضیحات داده شده به آن‌ها در خصوص استفاده از معیار KSS، ارزیابی صحیحی از میزان خواب‌آلودگی خود نداشته باشند. این مسئله در سطوح بالاتر خواب‌آلودگی (KSS>6) که سطح هوشیاری و تمرکز راننده کاهش می‌یافت، تشدید می‌شد. بنابر این برای بالا بردن دقت ارزیابی، دو ناظر متخصص که بر روند انجام آزمایشات نظارت داشتند، بر اساس تصاویر دوربین جلویی، جانبی و نحوه رانندگی آزمایش‌شونده، خواب‌آلودگی او را به صورت همزمان و طبق معیار KSS امتیازدهی کردند. در شکل 13 تصویر راننده در حین اجرای تست روزانه در شبیه‌ساز رانندگی نشان داده شده‌است. به دلیل تاریک بودن محیط آزمایشگاه در تست‌های شبانه، تصویر مربوط به آن در اینجا آورده نشده‌است.

شکل 13 تصویر راننده در حین اجرای تست روزانه در شبیه‌ساز رانندگی

1- Simulator Sickness
2- Karolinska Sleepiness Scale (KSS)

4- تحلیل داده‌ها

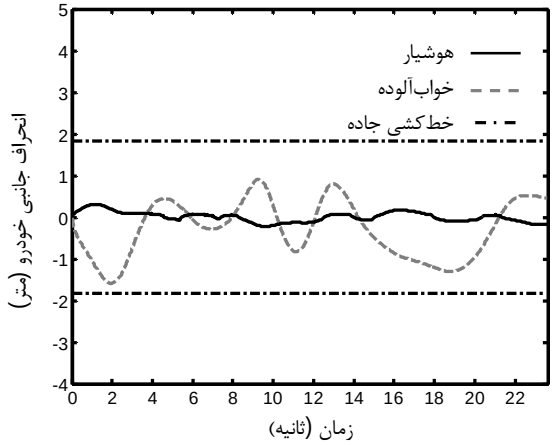
4-1- اکتساب داده‌ها

برای حذف اثر تفاوت انحنای مسیر و امکان مقایسه وضعیت راننده‌های مختلف با یکدیگر، باید بخشی از داده‌ها انتخاب شوند که در آن، مسیر طی شده و میزان خواب‌آلودگی در آن بخش از مسیر برای راننده‌ها یکسان باشد. نهایتاً داده‌های رانندگی شش راننده مربوط به بخشی از مسیر که طول آن m 840، شعاع انحنای متوسط m 1200 و سرعت مجاز در آن km/h 120 بود انتخاب شدند. میزان خواب‌آلودگی این 6 راننده در تست‌های شبانه برای این بخش از مسیر یکسان بود (KSS≥8). در شکل‌های 14 تا 16 نمونه‌ای از داده‌های خام مربوط به رانندگی در این بخش از مسیر آورده شده‌است.

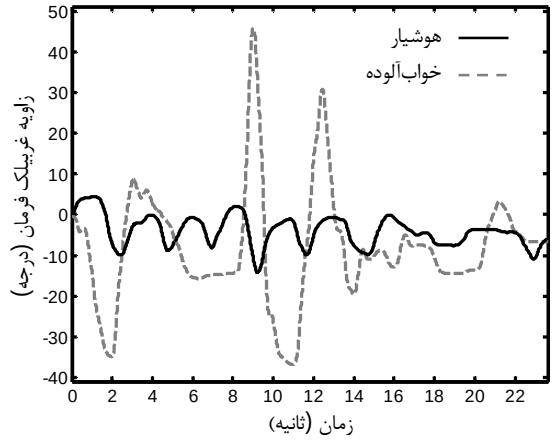
4-2- ارزیابی شاخصه‌ها

شاخصه‌های معرفی شده در بخش 2-2 و 2-3 برای قسمتی از مسیر که در بخش 4-1 توضیح داده شد، برای هر 6 راننده در دو حالت هوشیار و خواب‌آلوده بدست آمد.

شاخص بیضی: نمودارهای شاخص بیضی و منحنی فاز فرمان در شکل‌های 17 تا 22 برای سه راننده، در دو حالت هوشیار و خواب‌آلوده، نشان داده شده‌است. مقدار شاخص بیضی از طریق رابطه 4 محاسبه می‌شود (شکل‌های

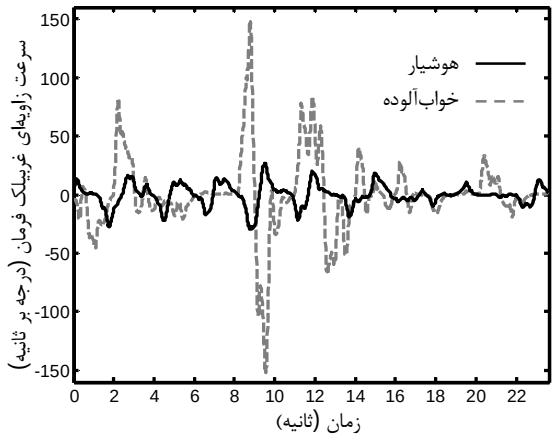


شکل 14 نمودار انحراف جانبی خودرو برای راننده شماره 5 در دو حالت هوشیار و خواب‌آلوده



شکل 15 نمودار زاویه‌ی غربیلک فرمان برای راننده شماره 5 در دو حالت هوشیار و خواب‌آلوده

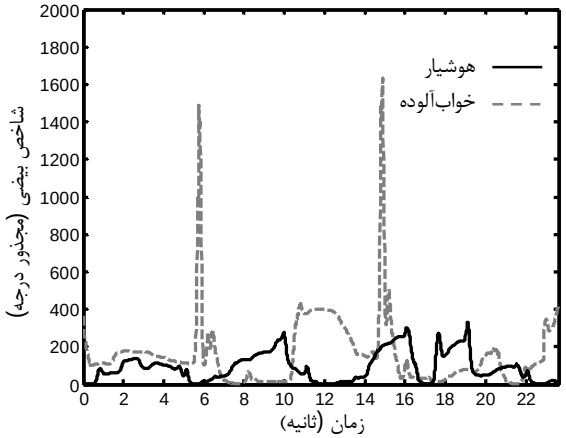
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.9.12.7]



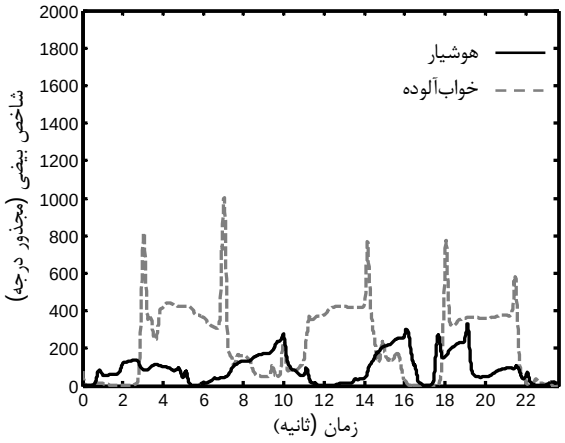
شکل 16 نمودار سرعت زاویه‌ای غربیلک فرمان برای راننده شماره 5 در دو حالت هوشیار و خواب‌آلوده

17 تا 19).با انتخاب آستانه مناسب (تعیین مقدار K در معادله 4)، می‌توان مرز بین هوشیاری و خواب‌آلودگی راننده‌ها را تعیین کرد. تعیین مقدار K به معنی تعیین بیضی به مرکز مبدأ مختصات است که بر داده‌های هوشیار راننده‌ها در منحنی فاز محیط است. در منحنی فاز، با رسم این بیضی که بر منحنی هوشیارِ هر راننده محیط است، مرز بین هوشیاری و خواب‌آلودگی هر رد مشخص می‌گردد. بر اساس معیار بیضی نقاط داخل بیضی بیان‌گر وضعیت هوشیار راننده‌ها و نقاط خارج بیضی بیان‌گر خواب‌آلودگی آن‌هاست. هرچه نقاط منحنی فرمان به مرکز بیضی نزدیک‌تر باشند، به این معنی است که راننده کنترل‌های دقیق‌تری نسبت به فرمان داشته‌است. منحنی فاز فرمان برای سه راننده (که منحنی شاخص بیضی آن‌ها در شکل‌های 17 تا 19 نشان داده شده‌است) در شکل‌های 20 تا 22 آورده شده‌است.

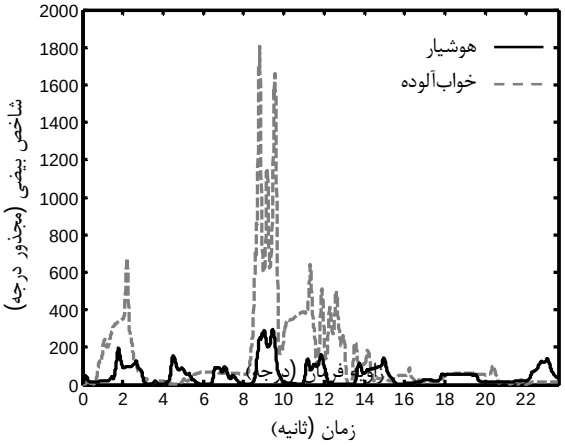
نقاطی از داده‌های خواب‌آلوده که داخل بیضی واقع شوند، خطاهای منفی این شاخصه هستند؛ به این معنی که راننده خواب‌آلوده بوده ولی به اشتباه هوشیار تشخیص داده شده‌است. نقاطی از داده‌های هوشیار که خارج بیضی باشند، خطاهای مثبت این شاخصه هستند؛ بدین معنی که راننده هوشیار بوده ولی به اشتباه خواب‌آلوده تشخیص داده شده‌است. بخشی از خطاهای منفی به علت مستقیم بودن قسمتی از مسیر رانندگی بود، که از جمله ضعف-های این معیار در چنین شرایطی است [12]. انتخاب آستانه‌ی مناسب برای شاخص بیضی، بر اساس حداقل‌سازی اعلام هشدار برای خطاهای مثبت صورت گرفت. متوسط شاخص بیضی برای راننده‌های هوشیار $82\ deg^2$ و



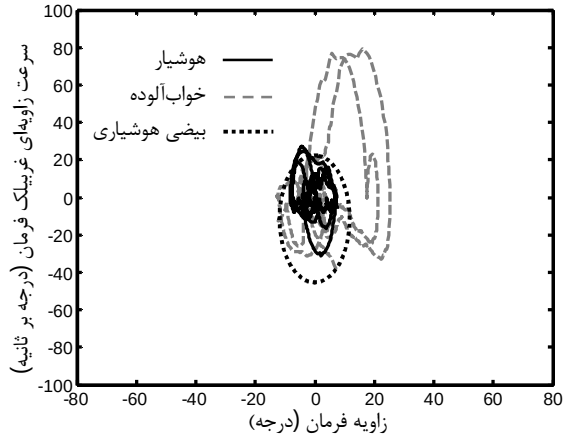
شکل 17 نمودار شاخص بیضی برای راننده شماره 2 در هوشیاری و خواب‌آلودگی



شکل 18 نمودار شاخص بیضی برای راننده شماره 3 در هوشیاری و خواب‌آلودگی



شکل 19 نمودار شاخص بیضی برای راننده شماره 5 در هوشیاری و خواب‌آلودگی



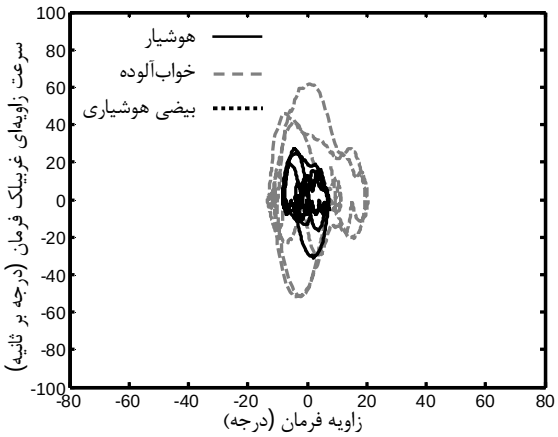
شکل 20 نمودار منحنی فاز فرمان برای راننده شماره 2 در دو حالت هوشیار و خواب‌آلوده

برای راننده‌های خواب‌آلوده $214deg^2$ اندازه‌گیری شد (شکل 23).

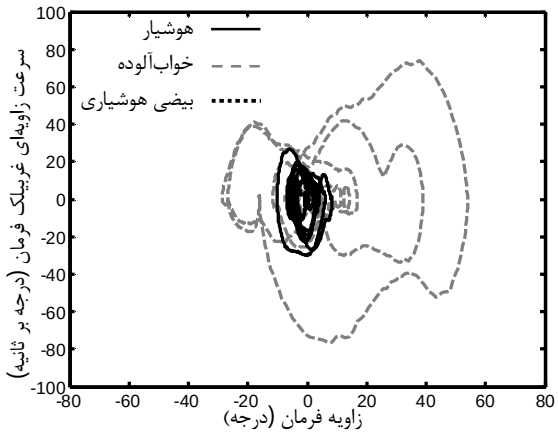
انحراف معیار زاویه فرمان: همان‌طور که در شکل 24 دیده می-شود، انحراف معیار زاویه فرمان با خواب‌آلودگی افزایش می‌یابد. مقدار متوسط آن برای راننده‌های هوشیار 3/8 deg و برای راننده‌های خواب‌آلوده 8/1 deg اندازه‌گیری شد.

انحراف معیار و میانگین موقعیت عرضی: نمودارهای انحراف معیار و میانگین موقعیت عرضی راننده‌ها به ترتیب در شکل‌های 25 و 26 نشان داده

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.9.12.7]



شکل 21 نمودار منحنی فاز فرمان برای راننده شماره 3 در دو حالت هوشیار و خواب‌آلوده

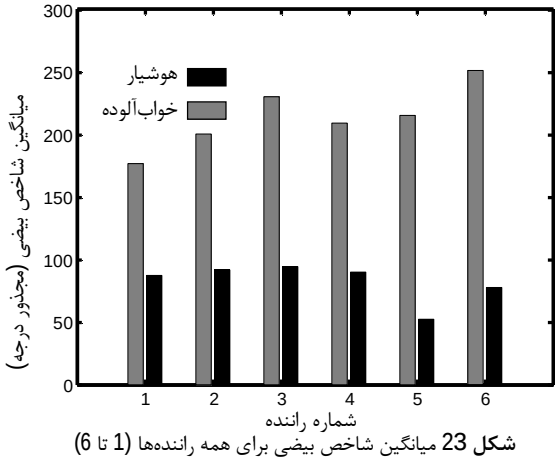


شکل 22 نمودار منحنی فاز فرمان برای راننده شماره 5 در دو حالت هوشیار و خواب‌آلوده

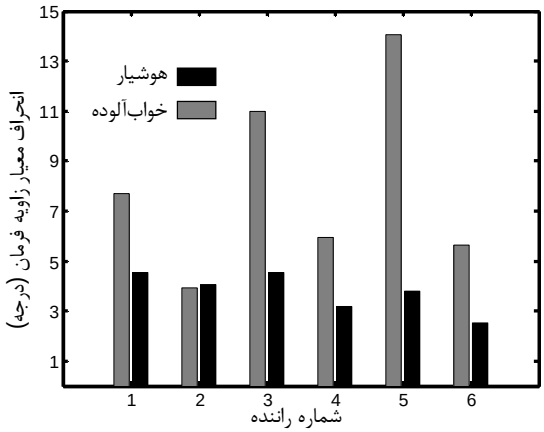
شده است. متوسط انحراف معیار برای راننده‌های هوشیار و خواب-آلوده به ترتیب 0/35 m و 0/97 m بدست آمد. همچنین متوسطِ میانگین موقعیت عرضی در حالت هوشیار و خواب‌آلوده برای راننده‌ها به ترتیب 0/2 m و 1/45 m بود.

نتایج نشان می‌دهند با افزایش خواب‌آلودگی انحرافات عرضی بیشتر به سمت راست جاده بوده و انحراف معیار موقعیت عرضی نیز افزایش یافته است. در پروژه اروپایی "سیستم ارزیابی مؤثر وضعیت راننده و کنترل خودرو در شرایط اضطراری[1]" نیز از میانگین موقعیت عرضی خودرو برای پیش‌بینی خواب‌آلودگی راننده‌ها استفاده شده بود. نتایج آن مطالعات نشان می‌دادند که با افزایش مدت زمان رانندگی، انحرافات خودرو اغلب به سمت راست مسیر است [19]. راننده‌ها به طور طبیعی تمایل دارند نزدیک به سمت راست مسیر رانندگی کنند؛ چرا که انحراف به چپ از مسیر برایشان احتمال خطر بیشتری را دارد و راننده می‌داند که اگر قرار باشد از مسیر منحرف شود، خطر مرگ در تصادف از روبه‌رو بسیار بیشتر از خطر تصادف با خودروهای هم جهت است. این مسئله با کاهش توانایی راننده، به شرط اینکه نسبت به اُفت عملکر خود آگاه باشد، افزایش می یابد. راننده‌ی خسته‌ای که نسبت به خواب‌آلودگی خود در حین رانندگی آگاهی دارد (راننده‌های آزمایش این‌گونه بودند)، به سبب آگاهی از افزایش ریسک ترجیح می‌دهند که در حاشیه سمت راست باند خود حرکت کنند؛ اگرچه به سبب خستگی حرکتشان مارپیچ خواهد بود؛ همان‌طور که انحراف معیار موقعیت عرضی آن‌ها نشان می‌دهد.

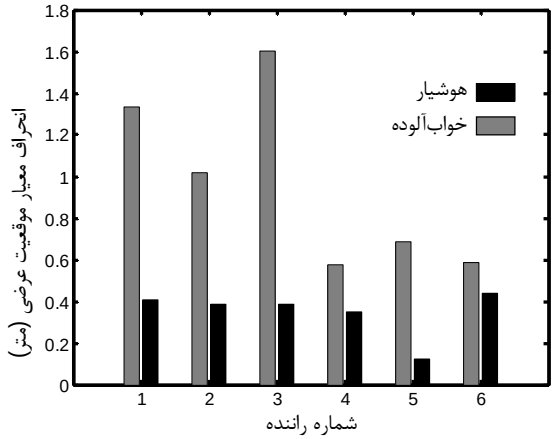
انتخاب آستانه خواب‌آلودگی برای شاخص‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. صرف نظر از دقت هر کدام از شاخصه‌ها، آستانه‌ی آن‌ها تعیین کننده‌ی میزان خطاهای مثبت و منفی سیستم در صورت عدم تشخیص صحیح خواب‌آلودگی خواهد بود.



شکل 23 میانگین شاخص بیضی برای همه راننده‌ها (1 تا 6)



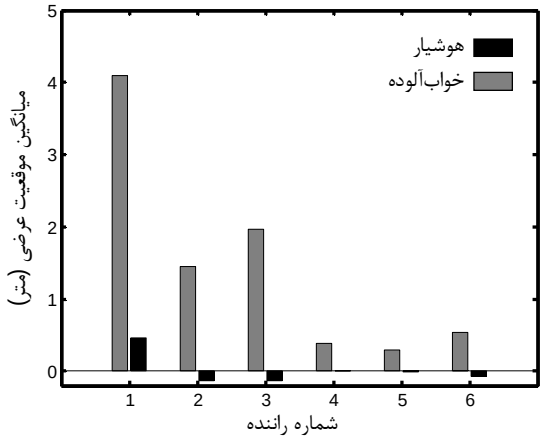
شکل 24 انحراف معیار زاویه فرمان برای همه راننده‌ها (1 تا 6)



شکل 25 انحراف معیار موقعیت عرضی برای همه راننده‌ها (1 تا 6)

1- System for Effective Assessment of the driver state and Vehicle control in Emergency situations (SAVE).

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.9.12.7]



شکل 26 میانگین موقعیت عرضی برای همه راننده‌ها (1 تا 6)

خطای مثبت بدین معنی است که راننده هوشیار بوده اما سیستم به اشتباه او را خواب‌آلوده شناسایی کرده‌است. خطای منفی یعنی راننده خواب‌آلوده بوده ولی سیستم به نادرستی او را هوشیار تلقی کرده‌است. اعلام هشدار برای خطاهای مثبت در سیستم سبب می‌شود، راننده اعتماد خود را به سیستم از دست بدهد. به علاوه این‌که، هشدارهای بی‌مورد باعث آزار راننده و اختلال در رانندگی وی می‌شود. بنابر این آستانه‌های مربوطه در اینجا بر اساس حداقل نمودن خطاهای مثبت در تمام شاخص‌ها تعیین شدند. در غیر این صورت می‌توانستیم با پایین آوردن مقدار آستانه‌ها، دقت را افزایش دهیم؛ اما سبب بروز خطاهای مثبت قابل ملاحظه‌ای می‌شد. در جدول 1 آستانه خواب‌آلودگی و دقت هر کدام از شاخصه‌ها آورده شده است.

در آزمایشات مشابهی که از موقعیت جانبی و زاویه فرمان جهت ارزیابی خواب‌آلودگی استفاده شده، اثر انحنای جاده در فرمان‌دهی راننده به درستی لحاظ نشده‌است [21،20]. در آن آزمایشات زاویه فرمانی که راننده باید در سر پیچ‌ها به فرمان بدهد با استفاده از رابطه $\delta = L/R$ محاسبه شده و مقدار به‌دست آمده، پس از لحاظ کردن نسبت تبدیل فرمان، به عنوان زاویه مطلوب فرمان‌دهی از زاویه فرمان راننده کسر شده است. در صورتی که سرعت خودرو و زمان واکنش راننده در الگوی فرمان‌دهی وی تأثیرگذار است و نمی‌توان زاویه فرمان بدست آمده از این روش را به عنوان زاویه فرمانی که اثر انحنای جاده در آن از بین رفته قلمداد کرد. بنا براین نتایج حاصله از این روش از دقت خوبی برخوردار نخواهد بود. در پژوهش حاضر برای یکسان نمودن اثر انحنا، داده‌های بخش یکسانی از مسیر که شعاع انحنای آن برای راننده‌های مختلف یکسان بود استفاده شد و نتایج به مراتب بهتری حاصل شد.

جدول 1 دقت تشخیص و آستانه خواب‌آلودگی برای کل شاخصه‌ها

	شاخص بیضی	انحراف‌معیار زاویه فرمان	میانگین موقعیت عرضی	انحراف‌معیار موقعیت عرضی
آستانه تشخیص خواب‌آلودگی	$91\ deg^2 \leq$	$4/5\ deg \leq$	$0/45\ m \leq$	$0/43\ m \leq$
دقت تشخیص	%77	%76	%65	%67

در مطالعه انجام شده در [21] از تست‌های رانندگی در شرایط واقعی به جای مطالعه در شبیه‌ساز استفاده شده بود. در نتایج حاصل از آن مطالعه اشاره شده بود که اگر آزمایشات بر روی شبیه‌ساز رانندگی انجام می‌شد، نتایج بهتری بدست می‌آمد. رانندگی در شرایط واقعی تحت تأثیر پدیده‌هایی است که اگر نتوان اثر آن‌ها را اندازه‌گیری و تحلیل کرد، مدل به دست آمده قابل اعتماد نخواهد بود. اجرای تست‌ها در شبیه‌ساز دارای این مزیت است که می‌توان تمام شرایط را تحت کنترل در آورد و اطمینان حاصل نمود که سایر پدیده‌های مداخله‌گر در نتایج آزمایشات اثر نگذاشته‌اند. در [21] با وجود استفاده از روش تحلیل شبکه عصبی و ترکیب شاخصه‌های وابسته به موقعیت جانبی و فرمان، دقت تشخیص 54/6% حاصل شده‌بود. دلیل آن در نظر نگرفتن اثر پدیده‌های مداخله‌گر در شرایط تست واقعی بود.

5- نتیجه‌گیری

معیارهای وابسته فرمان و موقعیت عرضی که در اینجا معرفی شدند، ارتباط معناداری با خواب‌آلودگی راننده‌ها داشتند. نتایج نشان دادند:

1- در صورت تحرکات قابل توجه فرمان، معیار بیضی می‌تواند با دقت بالایی (77%) جهت تشخیص خواب‌آلودگی استفاده شود؛ اما در مسیرهای مستقیم که حرکت‌های فرمان کم است، استفاده از سایر معیارها هم توصیه می‌شود.

2- انحراف معیار زاویه فرمان و انحراف معیار موقعیت عرضی خودرو به ترتیب با دقت‌های 76% و 67% معیار مناسبی جهت ارزیابی خواب‌آلودگی هستند. اما باید به این نکته توجه شود که چون جهت خودرو و در نتیجه موقعیت عرضی آن به طور غیرمستقیم با انتگرال زمانی زاویه فرمان متناسب است، برخی ویژگی‌های دینامیک بالای زاویه فرمان توسط این انتگرال‌گیری عملاً فیلتر می‌شوند. بنابر این، برای بررسی محتویات فرکانس بالای رفتار راننده زاویه فرمان مرجح است و برای بررسی محتویات فرکانس پایین رفتار راننده استفاده از موقعیت عرضی مرجح است.

3- اگرچه میانگین انحرافات عرضی راننده‌ها در حین خواب‌آلودگی بیشتر به سمت راست مسیر است؛ اما این مسئله به شرطی نشان دهنده خواب‌آلودگی خواهد بود که راننده آنقدری هوشیار باشد که از اُفت عملکرد خود در اثر خواب‌آلودگی آگاهی داشته باشد. در چنین شرایطی راننده ریسک برخورد از روبه‌رو را بیشتر ارزیابی کرده و ترجیح می‌دهد در حاشیه امن در سمت راست مسیر خود براند. اما در صورتی که راننده آنقدر خواب باشد که نتواند این ارزیابی را از شرایط خطرناک داشته باشد، چنین شاخصه‌ای کارایی نخواهد داشت. علاوه بر آن، انحراف به راست تنها در اثر خواب‌آلودگی ایجاد نمی‌شود و هر عامل خطرساز دیگری که راننده را از سمت چپ تهدید کند، سبب انحراف وی به سمت راست خواهد شد. بنابر این، هر انحراف به راستی به معنای خواب‌آلودگی نخواهد بود و باید از دیگر شاخصه‌ها نیز کمک گرفت.

به عنوان پیشنهاد برای کارهای آینده می‌توان به موارد فوق اشاره نمود:

1- از آنجایی‌که خواب‌آلودگی یک پدیده فازی می‌باشد تشخیص خواب‌آلودگی به صورت فازی مفید خواهد بود؛

2- استفاده از پارامترهای عملکرد طولی خودرو در تعامل با راننده جهت تشخیص خواب‌آلودگی (مانند الگوی فشردن پدال‌های گاز و ترمز و تغییرات سرعت خودرو)؛

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.9.12.7]

3- استفاده از روش‌های تحلیل فرکانسی و فرکانسی-زمانی جهت پردازش داده‌های رانندگی.

6- تقدیر و تشکر

این آزمایشات در آزمایشگاه واقعیت مجازی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی انجام شد. لازم است از کسانی که به هر نحوی به انجام این پروژه کمک کرده‌اند، تقدیر و تشکر به عمل آید. به دلیل وسعت طرح، فقط امکان ذکر نام برخی از این عزیزان ممکن است: آقایان دکتر علیرضا اسماعیلی (فرمانده اسبق پلیس راه کشور و مدیر گروه حمل و نقل و ترافیک دانشگاه علوم انتظامی)، فرامرز قره‌گوزلو، افشین جمشیدی، حامد مظفری، سجاد سمیعی، رضا هژبرالساداتی، رضا نریمانی و نادر رنجبری.

7- مراجع

[1] W. H. Organization, *Global status report on road safety 2013: supporting a decade of action: summary,* 2013 .
[2] B. C. Tefft, *Asleep at the Wheel: The Prevalence and Impact of Drowsy Driving,* 2010 .
[3] D. M. Hiestand, P. Britz, M. Goldman, B. Phillips, *Prevalence of Symptoms and Risk of Sleep Apnea in the US PopulationResults From the National Sleep Foundation Sleep in America 2005 PoII, CHEST Journal,* Vol. 130, No. 3, pp. 780-786, 2006 .
[4] Deputy of Planning-Department of IT, *Statistical Yearbook of Road Maintenance and Transportation Organization in 1391 HS,* I.R. of Iran Road Maintenance and Transportation Organization, 1392 HS. (In Persian)
[5] A. Sahayadhas, K. Sundaraj, M. Murugappan, *Detecting driver drowsiness based on sensors: a review, Sensors,* Vol. 12 ,No. 12, pp. 16937-16953, 2012 .
[6] E. Wahlstrom, O. Masoud, N. Papanikolopoulos, *Vision-based methods for driver monitoring,* in *Proceedings,* IEEE, pp. 903-908 .
[7] A. Williamson, T. Chamberlain, *Review of on-road driver fatigue monitoring devices,* 2005 .
[8] A. Kircher, M. Uddman, J. Sandin, *Vehicle control and drowsiness,* Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping, Sweden, 2002 .
[9] R. F. Knipling, W. W. Wierwille, I. America, *Vehicle-based drowsy driver detection: Current status and future prospects,* National Highway Traffic Safety Administration, Office of Crash Avoidance Research, 1994 .
[10] T. M. Mast, H. V. Jones, N. W. Heimstra, *Effects of fatigue on performance in a driving device,* Highway Research Record, 1966 .
[11] J. Y. Wong, *Theory of ground vehicles*: Wiley. com, 2001 .
[12] P. Deram, *Vehicle based detection of inattentive driving for integration in an Adaptive Lane Departure Warning System,* M.Sc. Thesis, Stockholm, Sweden, 2004 .
[13] P.-H. Ting, J.-R. Hwang, J.-L. Doong, M.-C. Jeng, *Driver fatigue and highway driving: A simulator study, Physiology & Behavior,* Vol. 94, No. 3, pp. 448-453, 2008 .
[14] http://drivingsimulator.ir/fa/home.php
[15] M. R. Ashouri, *Drowsy Driver Detection Based on Steering Wheel Maneuver Using Driving Simulator,* M.Sc. Thesis, Mechanical Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran, 2013. (In Persian)
[16] A. Nahvi. S. Samei, Sh. Azadi, R. Kazemi, A. Hatamyan, Zh. Hashemand, *Design, Manufacture and Steering System Control of Driving Simulator,* in *National Conference on Innovation in the Automotive Industry,* Tehran, Iran, 2008. (In Persian)
[17] M. W. Johns, *A new method for measuring daytime sleepiness: the Epworth sleepiness scale, sleep,* Vol. 14, No. 6, pp. 540-545, 1991 .
[18] K. Kaida, M. Takahashi, T. Åkerstedt, A. Nakata, Y. Otsuka, T. Haratani, K. Fukasawa, *Validation of the Karolinska sleepiness scale against performance and EEG variables*, *Clinical Neurophysiology,* Vol. 117, No. 7, pp. 1574-1581, 2006.
[19] A. Coda, P. C. Antonello, and B. Peters, *Technical and human factor aspects of automatic vehicle control in emergency situations.*, *In mobility for everyone. 4th world congress on intelligent transport systems*, Berlin, Germany, 1997.
[20] R. Sayed, A. Eskandarian, *Unobtrusive drowsiness detection by neural network learning of driver steering,* Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering Vol. 215, No. 9, pp. 969-975, 2001.
[21] F. Fabian, B. Yang., *Drowsiness monitoring by steering and lane data based features under real driving conditions,* Signal processing, pp.209-213, 2010.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.9.12.7]