Journal of Iran Futures Studies
Print ISSN: 6365-2423
Online ISSN: 2676-6183

Futurology on Driver Fatigue Processing Techniques

Abolfazl Khishdari
PhD Candidate, Department of Civil - Transportation Planning, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran, Ab.khishdari@gmail.com
Hamid Mirzahossein*
Associate Professor, Department of Civil - Transportation Planning, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran, mirzahossein@eng.ikiu.ac.ir

Abstract

Objective: Driver fatigue is one of the most prevalent causes of road crashes. It affects physiological properties such as heart rate, breath rate, and EEG features, as well as other indicators like driver gestures and vehicle maneuvers. This paper aims to investigate various driver fatigue detection and processing techniques and provide future insights.

Method: This study conducted a comprehensive literature review to explore the current methods and suggest future directions for driver fatigue detection and processing.

Results: The results indicate that physiological properties have the strongest correlation with driver drowsiness, making them more precise than other methods. Additionally, machine learning-based methods demonstrated superiority over other techniques.

Conclusion: The findings suggest that future approaches should utilize fusion-based machine learning methods to report and analyze driver drowsiness. Data fusion can involve integrating physiological signals, driver behavior, and driver status. Combining various physiological properties such as EEG, heart rate, and breath rate can achieve the highest accuracy due to multiple validations. This fusion approach is expected to provide more reliable and precise detection and analysis of driver fatigue.

Keywords: Machine Learning, Road Crash, Drowsiness.

Cite this article: Khishdari , Abolfazl. Mirzahossein, Hamid.(2025) Futurology on Driver Fatigue Processing Techniques,Volume9, NO.2 fall & winter 2025,52-73
Received on: 11 May 2024 **Accepted on**: 3 September 2024
Copyright© 2025, The Author(s).
Publisher: Imam Khomeini International University
Corresponding Author/ E-mail: Hamid Mirzahossein / mirzahossein@eng.ikiu.ac.ir

فصلنامه آینده پژوهی ایران

شاپای چاپی :۲۴۲۳-۶۳۶۳

شاپای الکترونیکی : ۶۱۸۳-۷۶۲۶

آینده‌پژوهی روش‌های پردازش خستگی رانندگان

ابوالفضل خویشداری

دانشجوی دکتری، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران، ab.khishdari@gmail.com

حمید میرزاحسین

دانشیار، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران، (نویسنده مسئول)، mirzahossein@eng.ikiu.ac.ir

چکیده

هدف: خستگی و خواب‌آلودگی یکی از مهم‌ترین علل بروز سوانح جاده‌ای است. خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان می‌تواند از طریق تغییر در خصوصیات فیزیولوژیکی بدن نظیر نرخ ضربان قلب، نرخ تنفس و یا تغییر در خصوصیات امواج مغزی و یا دیگر خصوصیات ظاهری راننده و نیز مانورهای حرکتی وسایل نقلیه نمود پیدا کند. هدف از این مقاله آینده‌پژوهی الگوهای شناسایی و پردازش خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان است که به‌واسطه آن بتوان بینشی از آینده پیش رو را به دست دهد.

روش: در این مقاله، بر پایه ارزیابی متون تحقیقات گذشته سعی شده است تا شرایط احتمالی که در آینده روش‌های شناسایی و پردازش خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان خواهند داشت ارائه گردد.

. **یافته‌های پژوهش:** نتایج حاکی از آن است که روش‌های مبتنی بر خصوصیات فیزیولوژیکی بیشترین تطابق با رفتار خواب‌آلود رانندگان داشته و لذا از دقت بالاتری در مقایسه با سایر روش‌ها برخوردار است. همچنین نتایج نشان داد مدل‌های مبتنی بر یادگیری ماشین مناسب‌ترین الگوی پردازش اطلاعات خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان است.

نتیجه‌گیری: بررسی‌های این مقاله مبتنی بر استنتاج از مطالعات گذشته نشان داد سمت‌وسوی آینده استفاده از روش‌های تلفیقی است. الگوی روش‌های تلفیقی می‌تواند به شکل تلفیق داده‌های مختلف خصوصیات فیزیولوژیکی، خصوصیات عملکردی راننده، خصوصیات ظاهری و حالت راننده باشد. همچنین تلفیق داده‌ها باید در ترکیب خصوصیات فیزیولوژیکی مختلف نظیر اطلاعات سیگنال مغزی، نرخ ضربان قلب و نرخ تنفس باشد.

واژگان کلیدی: یادگیری ماشین، تصادفات جاده‌ای، خستگی و خواب‌آلودگی

---

*استناد: خویشداری، ابوالفضل. میرزاحسین، حمید. (۱۴۰۳) آینده‌پژوهی روش‌های پردازش خستگی رانندگان، مقاله پژوهشی، دوره ۹، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۳، ۵۲-۷۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۲/۲۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۶/۱۳

ناشر: دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

مقدمه

سالانه تعداد زیادی از افراد در اثر سوانح جاده‌ای جان خود را از دست می‌دهند. برای مثال در سال ۱۴۰۰ تعداد ۱۶۵۵۶ نفر در اثر سوانح رانندگی جان خود را از دست داده‌اند. از این تعداد، ۴۱۳۷ نفر در شبکه معابر درون‌شهری و مابقی آن در شبکه معابر برون‌شهری و روستایی فوت شده‌اند. با این احتساب می‌توان اذعان نمود که ۲۵ درصد تلفات سوانح ترافیکی مربوط به مسیرهای درون-شهری و ۷۵ درصد مابقی مربوط به شبکه معابر برون‌شهری و روستایی بوده است. بنابراین لازم است تا تدابیر لازم جهت کاهش سوانح ترافیکی در محورهای برون‌شهری و روستایی اندیشیده شود (پزشکی قانونی، ۱۴۰۱).

عوامل متعددی در بروز سوانح ترافیکی جاده‌ای نقش دارند. منشأ این عوامل می‌تواند ناشی از خطای انسانی، وضعیت راه مورد تردد و محیط پیرامون و نیز وسیله نقلیه مورد تردد باشد. در یک تحقیق مشخص گردید مهم‌ترین عوامل با منشأ انسانی که در بروز یا تشدید تصادفات جاده‌ای نقش دارند عبارتنداز: ۱) خصوصیات فردی راننده، ۲) تخلفات رانندگی، ۳) اختلالات روحی و روانی، ۴) عوامل تخدیرکننده، ۵) خستگی و خواب‌آلودگی، ۶) معلولیت، ۷) نامناسب بودن سیستم اعطای گواهینامه رانندگی، ۸) کمبود آموزش‌های لازم برای رعایت مسائل ایمنی، ۹) کمبود عوامل نظارتی بر روی نیروی انسانی و۱۰) عابر پیاده (هدایت زاده، ۱۳۹۷:۳۴). پژوهش‌های متعدد دیگری که در خصوص نقش عامل انسانی در تصادفات انجام شده است، مؤید تأثیر قابل توجه رفتار نامناسب رانندگی بر افزایش میزان ریسک بروز تصادفات است. ازجمله این موارد می‌توان به پژوهش‌های انجام شده در خصوص رفتار ناهنجار رانندگان شهری در بروز تصادفات (Intini et al., 2024)، بررسی احتمال تکرار جرم در خصوص رفتار ناهنجار ترافیک رانندگان (Kaur et al., 2023)، ارزیابی میزان هنجارشکنی رانندگان تاکسی اینترنتی و تاکسی معمولی (Pan, Wang, & Szűcs, 2023) و تأثیر الگوی رانندگی، رفتار و خشونت حین رانندگی مابین رانندگان اتوبوس (Karimi, Aghabayk, & Moridpour, 2022) را می‌توان اشاره نمود.

از میان آنچه اشاره گردید، عامل خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان می‌تواند به‌عنوان یک عامل کلیدی در بروز تصادفات قلمداد گردد.

به‌طورکلی، خواب‌آلودگی یک نیاز فیزیولوژیکی بوده و شدت آن با توجه به‌سرعت به خواب رفتن، اختلالات خواب و عمق آن تعیین می‌گردد (مرادی و همکاران، ۱۳۹۵:۴). اخیراً شواهد نشان می‌دهد، خستگی راننده عامل اصلی ۲۵ درصد تصادفات جاده‌ای است که منجر به فوت یا

جراحات جدی می‌شود (سرداری،۲:۱۳۸۸). جدول علائم خواب‌آلودگی رانندگان حین رانندگی را نشان می‌دهد:

جدول ۱: علائم خواب‌آلودگی هنگام رانندگی

کاهش سرعت واکنش‌ها یعنی در صورت مواجهه با خطر، واکنش مناسب با تأخیر انجام شود.
کاهش تمرکز در رانندگی
بالا و پایین رفتن بی‌اختیار سرعت
ترمز گرفتن با تأخیر زیاد
مشکل در نگه‌داشتن خودرو بین خطوط جاده و انحراف وسیله نقلیه از وسط خط به کناره‌ها
شتاب و ترمز غیرمعمول و چرت کوتاه
عبور از کنار تابلوهای راهنما بدون توجه
احساس بی‌قراری و تحریک‌پذیری و گرم‌مزاجی
عدم یادآوری رانندگی چند کیلومتر قبل

کم‌خوابی یکی از مهم‌ترین دلایل بروز خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان است. به‌طورکلی خواب یک نیاز اساسی بوده و به‌نوعی اثر تجمعی دارد؛ به‌گونه‌ای که کاهش میزان یک تا دو ساعته خواب شبانه می‌تواند به خستگی شدید در طول روز منجر شود (نوری،۷:۱۳۹۵).از دیگر عوامل مؤثر در خواب‌آلودگی رانندگان زمان رانندگی است. بررسی تصادفات با منشأ خستگی و خواب‌آلودگی نشان داده است، بیشترین تصادفات در بازه زمانی ۲ تا ۶ بامداد و سپس ۱۲ تا ۲ بعدازظهر رخ داده است. بر این اساس، بین زمان رانندگی و سطح هوشیاری راننده همبستگی وجود دارد (نوری،۷:۱۳۹۵). بدون شک شرایط هندسه مسیر نیز (خصوصاً مسیر یکنواخت) تأثیر بسزایی در بروز خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان خواهد داشت. یکنواختی مسیر بیانگر وضعیتی است که شرایط محیطی پیرامون راه بدون تغییر باقی می‌ماند یا تغییرات قابل پیش‌بینی است. در چنین شرایطی بایستی هشدار لازم به راننده در موقعیت‌های حساس داده شود. به‌عنوان مثال، هنگام مواجهه با خواب‌آلودگی حین رانندگی در مسیر یکنواخت، می‌توان با استفاده از سیگنال‌های صوتی، لرزش صندلی یا فرمان یا آلارم‌های صوتی و پخش موسیقی با صدای بلند و در صورت لزوم فعال شدن سیستم ترمز اضطراری و کیسه هوا به راننده هشدار داد. (نوری،۸:۱۳۹۵). از دیگر مواردی که در وضعیت خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان تأثیرگذار است، میزان تجربه رانندگی است. بررسی‌های یک پژوهش نشان داد رانندگان کم‌تجربه بدون توجه به اثرات زیان‌بار رانندگی در وضعیت خستگی و خواب‌آلودگی اطلاعات زیادی را مورد پردازش ذهنی قرار می‌دهند و لذا این‌گونه رانندگی موجب خستگی زودرس رانندگان می‌گردد (Li et al., 2010). احساس ایمنی و استرس راننده نیز می‌تواند در سطح هوشیاری رانندگان حین رانندگی مؤثر باشد. برای مثال در یک پژوهش ملاحظه گردید زمانی که راننده تحت تنش فکری ناشی از ثبت اطلاعات توسط دوربین

درون خودرو باشد، میزان خستگی و خواب‌آلودگی آن بیشتر از زمانی است که در آرامش کامل (به دلیل نصب دوربین در مکانی مناسب درون خودرو) باشد (Yang et al., 2024).

پیشینه پژوهش

در پژوهشی به بررسی آمار ۵ ساله تصادفات از نوع واژگونی مربوط به ایالت پنسیلوانیا آمریکا پرداخته شد (Hu & Donnell, 2011). بدین منظور از مدل‌های لوجیت باینری (صفر و ۱) و مدل لوجیت چندتایی استفاده گردید. بررسی‌ها نشان داد وجود مسیر دارای قوس حین حرکت، نبستن کمربند ایمنی، تند بودن شیب میانه و باریک بودن میانه، شدت تصادفات واژگونی با منشأ خستگی و خواب‌آلودگی را افزایش می‌دهد.

در مطالعه دیگری، به بررسی تأثیر سن رانندگان در میزان شدت تصادفات واژگونی واقعه با بهره-گیری از مدل لوجیت چندتایی پرداخته شد. بررسی نتایج نشان داد که رانندگان زن نسبت به رانندگان مرد در معرض تهید خطر بیشتری (شدت جراحت و یا احتمال فوت شدن) در تصادفات واژگونی هستند. به‌علاوه نتایج نشان داد رطوبت یا خیس بودن سطح روسازی راه و همچنین استعمال دارو و مشروبات الکلی به‌طور قابل توجهی در شدت تصادفات واژگونی با منشأ خستگی و خواب‌آلودگی تأثیرگذار است (Wu et al., 2016).

مطالعه انجام‌گرفته بر روی رانندگان تاکسی در شانگهای نشان داد تصادفات با منشأ خستگی رانندگان رابطه معنی‌داری با میزان تجربه آن‌ها دارد (Ren, Jin, & Kang, 2007). افراد با تجربه کم رانندگی با خطر زیادی از نظر برخورد و تصادفات برخوردارند. در مقابل افرادی که تجربه زیادی در رانندگی داشتند مشخص گردید به این دلیل که احساس تجربه بیش‌ازحد و کاذب داشتند، در مواقع بحرانی تصمیم‌گیری‌های نامناسب داشتند که موجب بروز تصادفات می‌گردید (Li et al., 2010).

بررسی‌های یک مطالعه در چین نشان داد که رانندگان با تجربه کمتر از ۳ سال یا تقریباً ۱۰ سال بیشترین احتمال مشارکت به‌عنوان مقصر در تصادفات را داشته‌اند (Li et al., 2010).

در یک مطالعه در ترکیه مشخص گردید که رانندگان باتجربه در معرض به خطر انداختن جان خود و سایر رانندگان ناشی از خستگی هستند (Öz, Özkan, & Lajunen, 2010). بررسی محققان نشان داد عادات زندگی و فاکتورهای مربوط به خواب رانندگان در تصادفات به وقوع پیوسته در معابر درون‌شهری یونان نقش دارد (Gnardellis et al., 2008).

تحقیقات نشان داده است که استعمال الکل و دخانیات و همچنین داروها در بروز خستگی رانندگان و احتمال وقوع تصادفات تأثیر دارد (Horne, Reyner, & Barrett, 2003; Roehrs & Roth, 2001).استعمال دارو علاوه بر تأثیرات مضر ناشی از واکنش‌های شیمیایی می‌تواند موجب بروز خستگی در رانندگان گردد (NHTSA, 1998) که به‌موجب آن احتمال شدت خطر از تصادفات جرحی با شدت کم به تصادفات فوتی و یا جرحی شدید افزایش می‌یابد (Elvik, 2013).

اختلالات خواب نیز ازجمله عواملی است که می‌تواند شرایط خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان حین سفر را فراهم آورد (Powell et al., 2007).

خصوصیات زیرساخت راه و شرایط آن نیز می‌تواند در خستگی رانندگان تأثیرگذار باشد. در یک پژوهش به بررسی شرایط مختلف راه و تأثیر این شرایط محیطی بر عملکرد رفتاری رانندگان چین پرداخته شد. نتایج نشان داد تغییر محیط پیرامون راه از حالت پیچیده به ساده موجب تشدید پدیده خستگی و خواب‌آلودگی می‌گردد. همچنین تغییر در انواع تسهیلات راه در خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان اثرگذار است (Liu & Wu, 2009).

بررسی‌ها نشان داده است رانندگی طولانی‌مدت در جاده‌ها با شرایط محیطی یکنواخت، موجب خستگی راننده و افزایش خطر و تنش در وی می‌گردد که خود می‌تواند زمینه‌ساز بروز تصادفات باشد (Li et al., 2010).

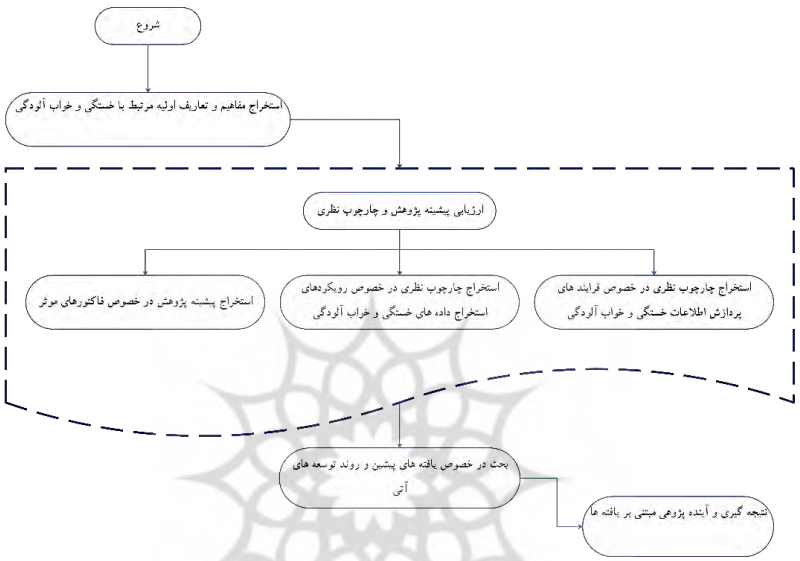
مصرف مشروبات الکلی و داروهای مخدر می‌تواند به‌صورت بالقوه بر رفتار رانندگان تأثیرگذار باشد و آن‌ها را از تمرکز کافی حین رانندگی بازدارد. از طرفی تأثیر توأمان این دو می‌تواند اثرگذاری بیشتری داشته باشد. برخی از مهم‌ترین راهکارهای کاهش خستگی و خواب‌آلودگی ناشی از مصرف موارد فوق عبارت از ارزیابی نوع داروی مورد مصرف و دوز آن که پیوسته در حال تغییر می‌باشند، ارزیابی میزان مصرف داروهای اشباع در خون به روی خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان و درجه‌بندی ممانعت از مصرف داروها، ارزیابی مدت‌زمان لازم جهت تخفیف یا اتمام اثر داروهای مصرفی در خستگی رانندگان، ارزیابی میزان تأثیر استفاده توأمان از داروها به روی خستگی رانندگان، اندازه‌گیری میزان مصرف داروها توسط رانندگان به طرق دقیق و اجرایی است (Arnold, 2016; Berning, 2014; Compton, 2017, 2009; Logan, 2016; Smith, 2018; Stewart, 2006).

جدول ۲:جمع‌بندی فاکتورهای مؤثر در خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان

پژوهشگران	شاخص‌های اثرگذار بر خستگی و خواب‌آلودگی
(Hu & Donnell, 2011; Liu & Wu, 2009)	خصوصیات راه و محیط پیرامون (نظیر وجود مسیر قوس حین حرکت، نبستن کمربند ایمنی، تند بودن شیب میانه و باریک بودن میانه،محیط پیچیده، تغییر در انواع تسهیلات راه)
(Wu et al., 2016)	جنسیت راننده، خیس بودن سطح راه
(Li et al., 2010) (Ren, Jin, & Kang, 2007) (Öz, Özkan, & Lajunen, 2010)	تجربه رانندگی
(Gnardellis et al., 2008)	عادات زندگی و فاکتورهای مربوط به خواب رانندگان
(Arnold, 2016; Berning, 2014; Compton, 2009-2017; Elvik, 2013; Horne, Reyner, & Barrett, 2003; Logan, 2016; NHTSA, 1998; Roehrs & Roth, 2001; Smith, 2018; Stewart, 2006)	استعمال الکل و دخانیات و همچنین داروها
(Powell et al., 2007)	اختلال خواب
(Li et al., 2010)	رانندگی طولانی‌مدت

روش تحقیق

هدف اصلی آینده‌پژوهی شناسایی و یا تدوین، بازبینی و ارزیابی و پیشنهاد آینده مورد تصور و محتمل در زمینه مورد پژوهش است (Bell, 2003). در این مقاله با تکیه بر یافته‌های پیشین و بحث به روی آن‌ها بر اساس استدلال‌های تحقیقاتی مبتنی بر خروجی‌های کمی و کیفی سعی گردیده است آینده‌پژوهی در خصوص تکنیک پردازش خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان صورت پذیرد. شکل (۱) شمایی از رویه انجام تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۱:شمایی از رویه تحقیق

چهارچوب نظری

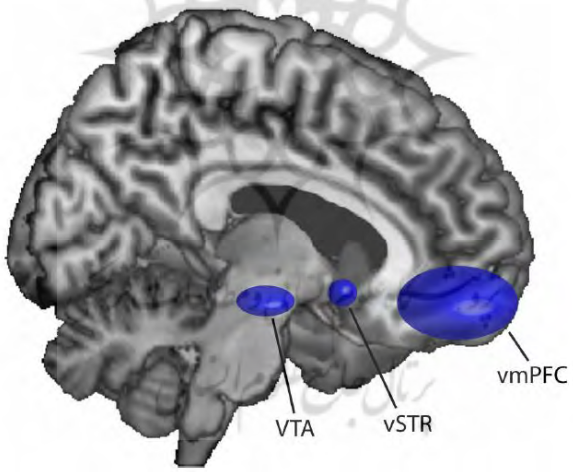
با وجود نمایش مخاطرات ناشی از رانندگی در حالت خستگی و خواب‌آلودگی، کماکان این رفتار مخاطره‌آمیز برای اکثر رانندگان محتمل است و یک خطر جدی در کاهش ایمنی تردد در جاده‌ها به شمار می‌رود (خوشبخت و همکاران،۱۳۹۱:۳).

به‌منظور ارزیابی خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان بایستی اطلاعات مناسب از رفتار راننده شناسایی گردد. ازجمله اطلاعاتی که در پردازش خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان مؤثر است می‌توان به حرکات چشم، امواج مغزی، ظاهر راننده، وضعیت بدن راننده، چرخش فرمان، ترمزگیری، سرعت، وضعیت خودرو در خیابان و ... اشاره نمود. به‌طورکلی جهت استخراج داده‌های خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان سه دسته مرسوم قابل وصف شامل: داده‌های مبتنی بر علائم فیزیولوژیکی، داده‌های مبتنی بر عملکرد راننده و داده‌های مبتنی بر وضعیت و ظاهر راننده (نوری، ۱۷:۱۳۹۵) قابل بررسی است.

الف) داده‌های مبتنی بر خصوصیات فیزیولوژیکی

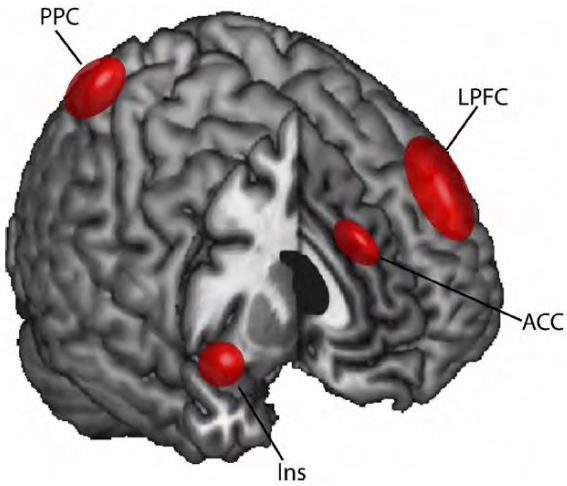
خصوصیات فیزیولوژیکی شامل مجموعه‌ای از اطلاعات ثبت‌شده از علائم حیاتی و غیره بدن است که بیانگر عملکرد ارگان بدن است. عملکردها می‌توانند شامل مواردی نظیر حرکات بدن، تنفس، هضم، رشد و غیره باشد. برخی از مهم‌ترین خصوصیات فیزیولوژیکی که در مطالعات خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان مورد استفاده قرار می‌گیرد عبارت از سیگنال‌های الکتریکی امواج مغزی (EEG)، سیگنال‌های الکتریکی امواج ماهیچه‌های بدن و حرکاتی (EMG)، ضربان قلب، تنفس، مقاومت الکتریکی پوست و نظایر آن است.

از مهم‌ترین خصوصیات فیزیولوژیکی که می‌تواند با دقت بالایی رفتار راننده را توصیف و پردازش نماید، سیگنال‌های مغزی (EEG) است. در حقیقت هر تصمیمی که یک فرد می‌گیرد بر اساس قطعیت یا عدم قطعیت برخواسته از واکنش‌های مغزی وی در ۷ ناحیه است. شکل‌های (۲) و (۳) شمایی از این ۷ ناحیه را نشان می‌دهند. ۳ ناحیه اول که به ترتیب ناحیه تگمنتال[۱] (VTA)، استرتوم شکمی[۲] (vSTR) و بخش پیش‌پیشانی شکمی قدامی مغز[۳] (vmPFC) هستند، در حقیقت مرتبط با بخش پردازش و ارزیابی میزان ارزش تصمیماتی است که فرد می‌گیرد. در مقابل ۴ ناحیه دیگر مرتبط با عدم قطعیت در تصمیم‌گیری فرد بوده و شامل: ناحیه جزیره‌ای قدامی[۴] (Ins)، قشر سینگولیت قدامی[۵] (ACC)، بخش پیش‌پیشانی جانبی قدامی[۶] (LPFC) و قشر جداری خلفی[۷] (PPC) (Smith & Huettel, 2010).



شکل ۲: شمایی از سه بخش اصلی ارزیابی میزان ارزش تصمیم مغزی انسان (**Smith & Huettel, 2010**)

1. ventral tegmental area (VTA)
2. ventral striatum (vSTR)
3. ventromedial prefrontal cortex (vmPFC)
4. insular cortex (Ins)
5.anterior cingulate cortex (ACC)
6. lateral prefrontal cortex (LPFC)
7.posterior parietal cortex (PPC)



شکل ۳: شمایی از چهار بخش اصلی مرتبط با عدم قطعیت در تصمیم‌گیری مغزی انسان (**Smith & Huettel, 2010**)

خروجی اطلاعاتی که در شکل‌های (۲) و (۳) آمده است، در قالب سیگنال‌های مغزی ثبت‌شده توسط دستگاه‌های مرتبط نمود پیدا می‌کند. سیگنال‌های مغزی به‌طورکلی در قالب ۵ باند فرکانسی تقسیم‌بندی می‌گردند که عبارت از باند فرکانسی Delta، Theta، Alpha، Beta و Gama است. هریک از باندهای فرکانسی فوق خصوصیات مخصوص به خود را داشته و نمایانگر وضعیتی از شرایط فعلی کاربر است. این شرایط غالب اطلاعات توصیف‌شده توسط سیگنال است لیکن اطلاعات باند فرکانسی فوق نمایانگر شرایط دیگری نیز است. برای مثال باند فرکانسی Alpha بیشتر نشان‌دهنده وضعیت ریلکس بودن انسان و باند فرکانسی Delta نمایانگر وضعیت خواب عمیق انسان است (Smith & Huettel, 2010). در یک پژوهش ملاحظه گردید با کمک ابزار ثبت سیگنال مغزی ۳۲ کاناله می‌توان الگوی رفتار رانندگی رانندگان را با دقت مناسبی پردازش نمود (Chang et al., 2022). همچنین از طریق ثبت اطلاعات سیگنال مغزی و ارزیابی باندهای فرکانسی مختلف می‌توان تغییر در خصوصیات نرون‌های عصبی و در نتیجه شرایط هوشیاری رانندگان را تشخیص داد(Gibbings et al., 2022). ازآنجایی‌که سیگنال‌های مغزی دربردارنده کلیه اطلاعاتی هوشیاری و حرکاتی فرد هستند، تحرکات جسمانی آن‌ها نیز در سیگنال مغزی تأثیرگذار است. یک بررسی تحقیقاتی نشان داد با کمک حذف اثر تحرکات جسمانی (نظیر پلک زدن چشم‌ها، ماهیچه‌ها) در سیگنال EEG مغزی می‌توان رفتار رانندگی کاربران به‌طور دقیق‌تری ارزیابی نمود (Qi et al., 2021).

نکته مهمی که بایستی به آن اشاره شود، در این است که ازلحاظ اجرایی دسترسی به خصوصیات فیزیولوژیکی نظیر سیگنال مغزی در مقیاس واقعی عملاً دشوار است. لیکن استفاده از برخی دیگر خصوصیات فیزیولوژیکی نظیر نرخ ضربان قلب و نرخ تنفس در داخل خودرو قابلیت اجرایی دارد (Sriranga, Lu, & Birrell, 2023).

ضربان قلب یک انسان ازجمله شاخصه‌ای است که به شکل مناسبی می‌تواند جهت ارزیابی وضعیت خواب یک انسان مورد استفاده قرار گیرد (Versace et al, 2003; Jurysta et al., 2003; Tobaldini et al., 2013). همین عامل باعث گردیده است تا در متون تحقیقاتی نیز از این شاخصه جهت ارزیابی خواب‌آلودگی رانندگان نیز استفاده شود (Cardone et al., 2022; Heikoop et al., 2019; Huang et al., 2022; Kuo, 2019; Loeches De La Fuente et al., 2019; Meteier et al., 2021; Perello-March et al., 2022; Shao et al., 2022; Wen et al., 2019; Zeng et al., 2020)

ب) استخراج داده مبتنی بر عملکرد راننده

در این روش از نحوه رانندگی فرد و وضعیت خودرو برای تشخیص خواب‌آلودگی استفاده می‌شود. در تحقیقات انجام شده بر روی این روش، عموماً از ردیابی خطوط جاده، تغییر فرمان خودرو، تعداد خطوط عبور جاده و فاصله بین خودروها جهت تشخیص هوشیاری راننده استفاده می‌شود. از روش‌های متعددی نظیر سنسورهای نصب‌شده درون خودرو می‌توان تغییرات اشاره‌شده را ثبت و پردازش نمود. جهت پردازش اطلاعات نیز از تکنیک‌هایی نظیر هوش مصنوعی و نیز منطق فازی می‌توان بهره برد (موسوی و همکاران،۱۳۹۱:۷).

ج) استخراج داده مبتنی بر ظاهر و حالت راننده

در هنگام خواب‌آلودگی، ظاهر و صورت راننده دستخوش تغییرات محسوسی می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها طولانی شدن زمان پلک زدن چشم، اُفتادگی سر، تغییر حالات دهان و کشیدن خمیازه و وضعیت نشستن در اثر سست شدن عضلانی است. به‌طور معمول از روش‌های پردازش تصویر نظیر بینایی ماشین به‌منظور ثبت و پردازش این حالات رفتاری استفاده می‌شود. روش کار بدین گونه است که تصاویر فرد توسط دوربینی که در مقابل او قرار دارد گرفته شده سپس با روش‌های بینایی ماشین و پردازش تصویر علائم استخراج و پردازش می‌گردد (سرداری،۱۳۸۸:۱۰).
پس از استخراج داده‌های مرتبط با خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان، بایستی پردازش داده‌ها صورت پذیرد. برخی از مهم‌ترین روش‌های پردازش خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان عبارتند از:

۱ـ روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

فرآیند AHP یکی از معروف‌ترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است. همان‌طور که از نام این روش تحلیلی پیداست، مشکل تصمیم‌گیری با ایجاد سلسله‌مراتب حل می‌شود. بنابراین، اولین قدم ایجاد یک درخت سلسله‌مراتب تصمیم‌گیری سه سطحی است. سطح اول هر درخت نشان‌دهنده هدف تصمیم‌گیرنده است. سطح نهایی هر درخت نیز نشان‌دهنده گزینه‌های رقیب و قابل مقایسه است و هدف از تصمیم‌گیری این است که در نهایت اهمیت نسبی این گزینه‌ها در قالب وزن‌های عددی مشخص شود. سطح میانی، مهم‌ترین سطح این درخت، معیاری است که گزینه‌های رقیب با آن مقایسه می‌شوند. این صفحه می‌تواند از چندین لایه تشکیل شده باشد. فرآیند AHP مستلزم مقایسه‌های زوجی بین گزینه‌های جایگزین است و این مقایسه‌ها بر اساس نمایش جدول مقایسه است (هدایت زاده، ۳۶:۱۹۸).

۲ـ یادگیری ماشین

یکی از زیرمجموعه‌های هوش مصنوعی است که به سیستم‌ها امکان یادگیری و بهبود خودکار را می‌دهد. یادگیری ماشین در تشخیص چهره، تشخیص گفتار، سیستم‌های توصیه‌کننده برای خدمات مالی و غیره استفاده می‌شود. الگوریتم‌های یادگیری ماشین بر اساس سه نوع یادگیری نظارت‌شده، یادگیری بدون نظارت و یادگیری تقویتی هستند. در این نوع یادگیری، ورودی به ماشین داده می‌شود و خروجی مشخص می‌شود و ماشین سعی می‌کند الگویی از رساندن ورودی به خروجی مورد انتظار را بیاموزد.

راه دیگر برای یادگیری مدل، یادگیری عمیق است. یادگیری عمیق شاخه‌ای از هوش مصنوعی است که در آن سعی شده است از فعالیت مغز انسان در پردازش داده‌ها و همچنین مدل‌های ذهنی انسان در تصمیم‌گیری تقلید شود. یادگیری عمیق یکی از زیرمجموعه‌های یادگیری ماشین در هوش مصنوعی است و نیاز به قدرت پردازش بالایی دارد (حسینی،۱۳۹۴:۲). قابل ذکر است هریک از روش‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق به سبب دقت بالا در پردازش داده‌ها به‌طور گسترده در متون تحقیقاتی گذشته به‌عنوان روشی کارا جهت پردازش خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان استفاده شده است. برای مثال نمونه از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، ماشین بردار پشتیبان (SVM) است. در این مدل، آن‌ها با استفاده از یک آبشار آموزشی، دهان راننده را شناسایی و ردیابی می‌کنند تا دهان را از روی تصاویر ورودی طبقه‌بندی و تشخیص دهند. سپس تصاویر دهان و خمیازه توسط SVM آموزش داده می‌شود. در نهایت،SVM برای طبقه‌بندی نواحی دهان برای تشخیص خمیازه و هشدار خستگی استفاده می‌شود. ضعف این مدل این است که تشخیص خستگی این مدل تنها بر اساس حالات دهانی و حالات چشمی است و نسبت نهایی را در نظر نمی‌گیرد (مرسلی،۱۴۰۰:۱۵). در پژوهشی دیگر به بهره‌گیری از الگوریتم یادگیری ماشین به‌منظور شناسایی شرایط خستگی رانندگان بر مبنای اطلاعات فیزیولوژیکی پرداخته شد. نتایج نشان داد با کمک رویکرد فوق و بر پایه تحلیل طیف فرکانس می‌توان با دقت ۹۷/۵۳ درصد خستگی و خواب-آلودگی رانندگان را شناسایی نمود (Zheng et al., 2022). در یک بررسی دیگر ملاحظه گردید با کمک اطلاعات سیگنال مغزی، می‌توان شرایط هوشیاری رانندگان و سرنشینان را به ترتیب با دقت ۹۸/۲ و ۸۸/۸۹ درصد پیش‌بینی نمود (Belcher et al., 2022).

ازجمله مدل‌های یادگیری عمیق نیز می‌توان به شبکه‌های عصبی کانولوشنی (CNN) اشاره نمود. الگوریتم CNN نوعی شبکه است که می‌تواند در سیستم تشخیص خواب‌آلودگی استفاده شود. در تشخیص خواب‌آلودگی بر اساس CNN، برای تشخیص هر رکورد خواب‌آلودگی، یک بردار ویژگی برای مقایسه با ویژگی‌های موجود در پایگاه داده و اندازه‌گیری هوشیاری یا خواب‌آلودگی راننده مورد نیاز است. CNN به تصاویر با اندازه ثابت به‌عنوان ورودی نیاز دارد، بنابراین نیاز به پیش‌پردازش ازجمله استخراج فریم‌های کلیدی از ویدیو بر اساس تغییرات زمان و ذخیره در

پایگاه داده دارد. از تصاویر ذخیره‌شده، بردارهای ویژگی در لایه‌های پیچیدگی CNN تولید می‌شوند و این بردارها می‌توانند برای تشخیص خواب‌آلودگی استفاده شوند (مرسلی، ۱۳:۱۴۰۰).

۳- تشخیص خستگی بر اساس الگوریتم ویولا جونز

این الگوریتم به‌طور گسترده‌ای برای تشخیص اشیاء در زمان واقعی استفاده می‌شود (مرسلی۱۰:۱۴۰۰). است. در پژوهشی سیستم ردیابی چشم برای تشخیص خواب‌آلودگی رانندگان پیشنهاد گردید. این سیستم متشکل از یک دوربین امنیتی ساده و یک لپ‌تاپ با نرم‌افزار و یک رابط گرافیکی کاربرپسند بود. روش تشخیص بدین ترتیب بود که با استفاده از الگوریتم‌های Violajonesو Adavost استخراج داده از ناحیه چشم و صورت انجام و خواب‌آلودگی راننده گزارش می‌شد (مرسلی، ۱۱:۱۴۰۰).

۴- تشخیص خواب راننده بر اساس ویژگی‌های HOG و Gabor

در این روش،یک دوربین در داخل خودرو نصب می‌گردد که برای نظارت بر چهره راننده استفاده است. پس‌ازاینکه دوربین تصویر را باز کرد، پیش‌پردازش شامل تبدیل تصویر از RGB به مقیاس خاکستری و صاف کردن هیستوگرام تصویر برای افزایش وضوح تصویر و سپس پردازش نهایی بود (مرسلی،۱۲:۱۴۰۰).

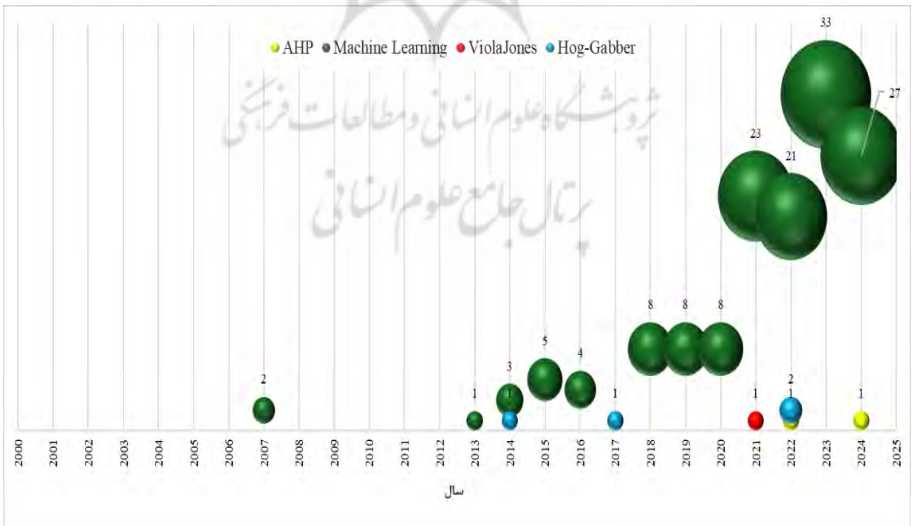
بحث در خصوص یافته‌ها و استخراج مدل پردازش محتمل آینده

مطابق با آنچه در تحقیقات نسبتاً قدیمی‌تر قابل استنتاج است، می‌توان اظهار داشت شناسایی و ارزیابی و اندازه‌گیری خستگی و خواب‌آلودگی با دقت انجام نمی‌شده است (Vanlaar et al., 2008). به نظر می‌رسد که در متون تحقیقاتی گذشته تفاوت قابل‌توجهی میان خستگی و خواب-آلودگی بیان نشده است (Philip et al., 2003). به‌طورکلی، پدیده خستگی بسیار پیچیده است و علائم ظاهری دقیقی ندارد و باید به‌طور مستقیم مورد شناسایی قرار گیرد (Stutts, Wilkins, & Vaughn, 1999) و این شناسایی زمانی که فرد مورد نظر از دارو و الکل استفاده کند دشوارتر می-گردد (Lyznicki et al., 1998). در گذشته وضعیت خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان معمولاً در فُرم گزارش‌های تصادفات به ثبت می‌رسید و پارامترهای وضعیت خستگی و خواب‌آلودگی فرد منظور نمی‌گردید (Horne & Reyner, 1999; Knipling & Wang, 1994). دلیل این موضوع مشکلات پرداخت و خسارات وارده به افراد بوده است که به‌موجب آن، به‌طور معمول در شرح جزئیات تصادفات، رانندگان وضعیت خستگی و خواب‌آلودگی خود حین رانندگی را گزارش نمی‌کردند (MT, 1999; Reyner & Horne, 1998). در نتیجه، در متون و مطالعات قدیمی انجام شده، در دنیا گزارش‌های دقیق کمی در رابطه با وضعیت خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان در دسترس است (McCartt et al., 1996). بررسی متون قدیمی نشان داده است که کم گزارش نمودن پدیده رانندگی در حالت خستگی در مقیاس جهانی بوده است (Horne & Reyner, 1995; Martikainen et al., 1992). همچنین تحقیقات گذشته تعداد متغیرهای کمتری در رابطه با پدیده

خستگی و خواب‌آلودگی در مدل‌سازی‌های تصادفات وارد می‌کردند. برای مثال متغیر تعداد سرنشینان وسیله نقلیه و خصوصیات راه موردنظر در مدل‌سازی‌ها وارد نشدند (Salminen & Lähdeniemi, 2002).

مطابق با آنچه در تحقیقات جدید نشان داده شده است، استفاده از سیگنال‌های مغزی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار قدرتمند در تشخیص خواب‌آلودگی رانندگان به کار آید (Belcher et al., 2022; Chang et al., 2022; Gibbings et al., 2022; Zheng et al., 2022). از طرفی با کمک سیگنال‌های مغزی می‌توان برخی خصوصیات رفتاری غیرارادی راننده که می‌تواند در رفتار وی تأثیرگذار باشد را حذف نمود (Qi et al., 2021).

مطابق با آنچه تاکنون اشاره گردید روش‌های متعددی جهت استخراج داده‌های مربوط به خستگی و خواب‌آلودگی راننده وجود دارد. از طرفی تکنیک‌های پردازش داده‌های خستگی و خواب‌آلودگی نیز متنوع‌اند. به‌منظور آینده‌پژوهی روش‌های پردازش خستگی رانندگان بایستی به این پرسش پاسخ داده شود که در طول زمان کدامین مدل‌های پردازش مرتبط با راننده توجه بیشتری از محققین را به خود معطوف نموده است. بدین منظور سعی شده است تا یک نمودار سلسله‌مراتب زمانی در خصوص مدل‌ها مورد استفاده از منابع علمی معتبر استخراج گردد. شکل (۴) شمایی از سلسله‌مراتب زمانی مدل‌های مختلف پردازش داده‌ها را نشان می‌دهد. قابل ذکر است جهت استخراج این نمودار سعی شده است تا تعداد پژوهش‌های انجام شده در قالب مقاله و به‌طور موردی از مرجع علمی Science Direct استخراج گردد. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد مدل‌های مبتنی بر یادگیری ماشین بیشترین تکرار را در متون مقالات داشته است و با توجه به سلسله‌مراتب زمانی پیش‌بینی می‌گردد که همین روند در آینده نیز ادامه یابد.

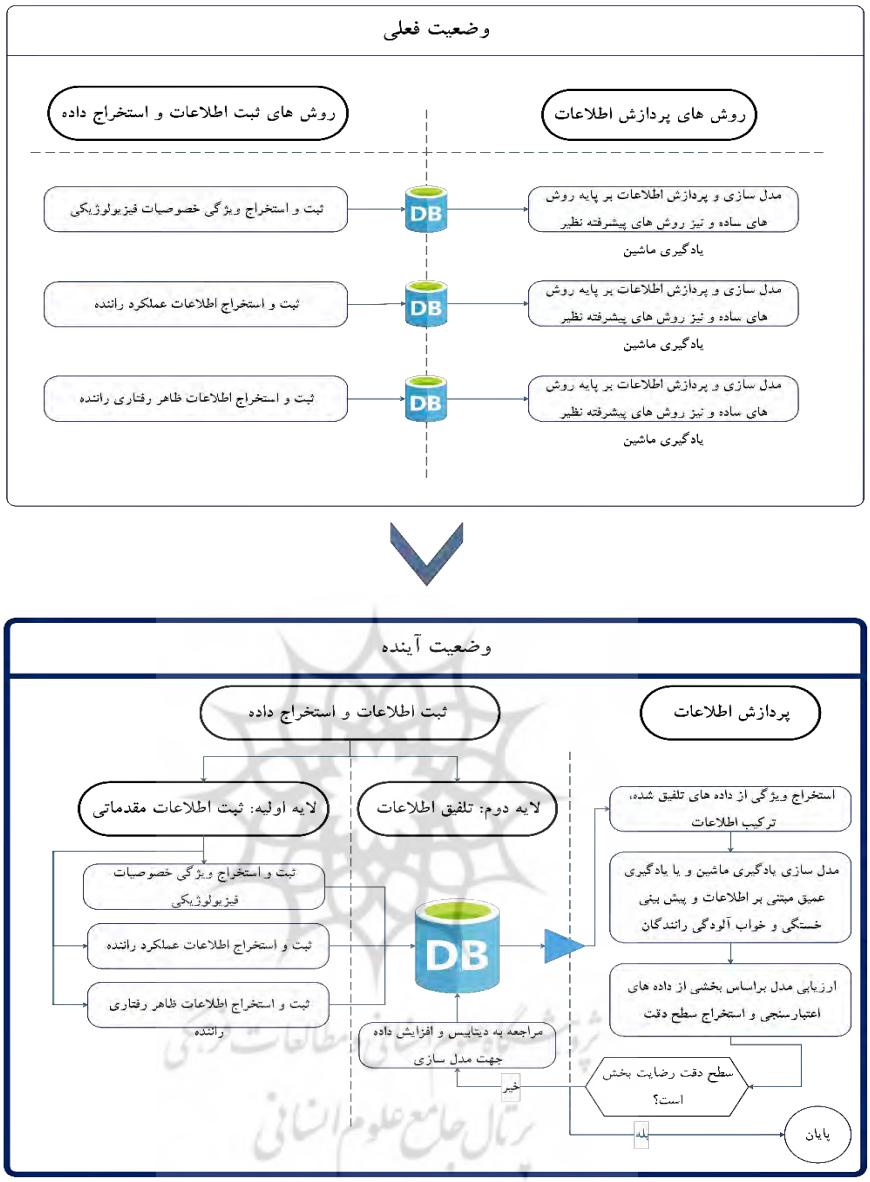


شکل ۴: شمایی از روند زمانی کاربرد مدل‌های مختلف در پردازش خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان

ازآنجایی‌که هر داده‌ای ارزشمند است، عموماً ترکیب داده‌ها[1] می‌تواند منجر به افزایش سطح دقت نهایی یک ساختار مدل‌سازی گردد. ترکیب اطلاعات می‌تواند در ساختار مدل‌سازی‌ها نظیر پژوهش انجام شده در خصوص ترکیب مدل‌های ساده و یادگیری ماشین به‌منظور افزایش توأمان سطح دقت و توصیف مدل (Liu et al., 2023) و یا ترکیب اطلاعات به‌منظور افزایش سطح دقت مدل‌سازی نظیر پژوهش انجام شده در خصوص تخمین بلادرنگ وقوع تصادفات با ترکیب اطلاعات خصوصیات فیزیولوژیکی، مانورهای حرکتی راننده حین رانندگی، تغییر حرکات جنبشی وسیله نقلیه حین رانندگی و نیز اطلاعات هواشناسی (Elamrani Abou Elassad, Mousannif, & Al Moatassime, 2020) استفاده شود.

این مفهوم در خصوص تحلیل داده‌های خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان نیز قابل طرح است. بنابراین ترکیب داده‌ها در تشخیص خواب‌آلودگی رانندگان می‌تواند به دو دسته داده‌های ترکیبی مبتنی بر روش‌های مختلف (خصوصیات فیزیولوژیکی، خصوصیات عملکردی راننده، خصوصیات ظاهری و حالت راننده) و یا ترکیب اطلاعات یک روش باشد. در پژوهشی که اخیر به روی ترکیب داده‌های یک روش صورت پذیرفت. مشخص گردید ترکیب ویژگی‌های استخراج‌شده از سیگنال‌های مغزی شامل: اطلاعات دامنه زمانی، دامنه فرکانسی و ترکیب غیرخطی از سیگنال‌ها می‌تواند منجر به افزایش سطح دقت تشخیصی خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان گردد (Zhang et al., 2023). لذا می‌توان اذعان داشت در آینده دو موج از تحقیقات شامل: ترکیب اطلاعات استخراج‌شده از یک روش و نیز ترکیب روش‌ها یا هردو باهم در پردازش اطلاعات خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان باشیم که نسبت به روش‌های کنونی بسیار دقیق‌تر و واقع‌گرایانه‌تر خواهند بود و نیز اعتبار بیشتری خواهند داشت. شکل (۵) شمایی از آینده‌پژوهی تکنیک‌های مورد احتمالی پردازش خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان را نشان می‌دهد.

1. Data Fusion



شکل ۵: شمایی از وضعیت فعلی و آینده تجزیه‌وتحلیل خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان

نتیجه‌گیری

سالانه تعداد زیادی از هم‌وطنان جان خود را در اثر سوانح ترافیکی از دست می‌دهند. این موضوع ذهن مهندسین عرصه حمل‌ونقل را به خود معطوف نموده است و سبب شده است تا تلاش‌های گسترده‌ای در زمینه کاهش و کنترل تصادفات را داشته باشند. یکی از علل اصلی بروز سوانح رانندگی خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان است. هدف این مقاله آینده‌پژوهی روش‌های پردازش خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان بود. در این راستا سعی شد تا تحقیقات پیشین در این عرصه

مورد بررسی قرار گرفته و نهایتاً سمت‌وسوی آینده تبیین گردد. بررسی‌های این مقاله نشان داد روش‌های مبتنی بر خصوصیات فیزیولوژیکی بیشترین تطابق را با وضعیت راننده داشته و لذا مدل-های توسعه داده شده مبتنی بر خصوصیات فیزیولوژیکی به بهترین شکل ممکن می‌توانند شرایط خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان را گزارش نمایند. تحقیقات گذشته نشان داد استفاده از علم ترکیب داده‌ها می‌تواند موجب بهبود دقت مدل‌های پردازش‌شده گردد. بنابراین محتمل است که در آینده استفاده از ساختار مدل‌سازی مبتنی بر داده‌های تلفیقی باشد. این تلفیق داده‌ها می‌تواند بر پایه ترکیب اطلاعات خصوصیات فیزیولوژیکی رفتار راننده و حرکات ماشین و غیره باشد. این ترکیب داده‌ها می‌تواند موجب افزایش سطح دقت مدل‌ها از طریق تائید چندمرحله‌ای گزارش وضعیت خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان گردد. این موضوع از طریق اعتبارسنجی چندمرحله‌ای موجب اطمینان‌پذیری بیشتر و تعمیم‌یافتگی در پردازش خستگی و خواب‌آلودگی راننده می‌گردد. نوع دیگری از ترکیب اطلاعات می‌تواند در قالب ترکیب اطلاعات خصوصیات فیزیولوژیکی نظیر: اطلاعات سیگنال مغزی، ضربان قلب، نرخ تنفس و غیره نمود پیدا کند. ازآنجایی‌که مشخص گردید در تحقیقات گذشته استفاده از خصوصیات فیزیولوژیکی بهترین تطابق را با وضعیت خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان دارند، سمت‌وسوی آینده استفاده از تلفیق این خصوصیات با یکدیگر و تشکیل مدل‌های دقیق‌تر بر این پایه است که بتواند بر اساس اعتبارسنجی چندمرحله‌ای دقت بالای مدل ساخته‌شده را تضمین کند.

منابع و مآخذ

سایت پزشکی قانونی کشور (۱۴۰۱). قابل دریافت به نشانی: https://lmo.ir/ از تاریخ ۱۴۰۱/۰۵/۰۱

سراج، مرضیه (۱۳۹۱)، تشخیص خواب‌آلودگی راننده بر اساس رفتار طولی خودرو توسط شبکه عصبی در شبیه‌ساز رانندگی، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکاترونیک، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

سرداری، محسن (۱۳۸۸)، تشخیص خواب‌آلودگی راننده با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی، دانشگاه اصفهان، دانشکده فنی مهندسی کامپیوتر

حسینی، مینا سادات (۱۳۹۴)، استفاده از الگوریتم یادگیری عمیق برای دسته‌بندی سیگنال‌هایEEG ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات گروه هوش مصنوعی

خوشبخت، میرزاعلی؛ امیری، موسی؛ احمدی، سید علی‌اکبر؛ بهمنی، اکبر (۱۳۹۱)، بررسی نقش عامل خستگی در رانندگی و ارائه راهکارهای مناسب، **فصلنامه علمی – ترویجی**، سال نهم، شماره ۱۸ تابستان ۹۱

مرادی، رامین، مقصودی‌پور، مریم، پویا کیان، مصطفی(۱۳۹۵). خستگی و خواب‌آلودگی در رانندگان، **فصلنامه علمی تخصصی طب کار**، دوره ۸، شماره ۲، صفحه ۱۰۱-۹۰

مرسلی، سپیده (۱۴۰۰)، تشخیص بلادرنگ خواب‌آلودگی راننده بر اساس پارامترهای رفتاری و استخراج نشانه‌های صورت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی آی‌تی گرایش مدیریت سیستم‌های اطلاعاتی، دانشگاه صنعتی ارومیه، دانشکده کامپیوتر

موسوی، سید مجید؛ مردانی، محمدرضا (۱۳۹۱)، طراحی و شبیه‌سازی سیستم تشخیص خواب‌آلودگی راننده، پایان‌نامه کارشناسی، دانشگاه زنجان، دانشکده فنی مهندسی گروه برق، گرایش الکترونیک و مخابرات

نوری، حمید (۱۳۹۶)، ارائه یک مدل جدید با استفاده از الگوریتم‌های درخت تصمیم و knn نزدیک‌ترین همسایه جهت تشخیص خواب‌آلودگی راننده، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته کامپیوتر، دانشگاه بجنورد، دانشکده فنی مهندسی

هدایت‌زاده، مهرداد (۱۳۹۸)، شناسایی و تجزیه‌وتحلیل عوامل اثرگذار بر تصادفات کامیون‌ها در محورهای برون‌شهری و ارزیابی راهکارهای پاسخ به ریسک با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی عمران گرایش راه و ترابری، دانشگاه شمال، دانشکده فنی مهندسی

References

Arnold, L. S., & Scopatz, R. A. (2016). Advancing drugged driving data at the State level: Synthesis of barriers and expert panel recommendations. *AAA Foundation for Traffic Safety*.

Belcher, M. A., Hwang, I., Bhattacharya, S., Hairston, W. D., & Metcalfe, J. S. (2022). EEG-based prediction of driving events from passenger cognitive state using Morlet Wavelet and Evoked Responses. *Transportation Engineering*, *8*, 100107. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.treng.2022.100107

Bell, W. (2003). Foundations of Futures Studies: Human Science for a New Era. Transaction Publishers.

Berning, A., & Smither, D. D. (2014). *Understanding the limitations of drug test information, reporting, and testing practices in fatal crashes*.

Cardone, D., Perpetuini, D., Filippini, C., Mancini, L., Nocco, S., Tritto, M., Rinella, S., Giacobbe, A., Fallica, G., Ricci, F., Gallina, S., & Merla, A. (2022). Classification of Drivers' Mental Workload Levels: Comparison of Machine Learning Methods Based on ECG and Infrared Thermal Signals. *Sensors*, *22*(19), 7300. https://www.mdpi.com/1424-8220/22/19/7300

Chang, W., Meng, W., Yan, G., Zhang, B., Luo, H., Gao, R., & Yang, Z. (2022). Driving EEG based multilayer dynamic brain network analysis for steering process. *Expert Systems with Applications*, *207*, 118121. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118121

Compton, R. (2017). *Marijuana-impaired driving: A report to Congress (Report No. DOT HS 812 440)*.

Compton, R., Vegega, M., & Smither, D. (2009). *Drug impaired driving: Understanding the problem and ways to reduce it*.

Elamrani Abou Elassad, Z., Mousannif, H., & Al Moatassime, H. (2020). A real-time crash prediction fusion framework: An imbalance-aware strategy for

collision avoidance systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 118*, 102708. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102708

Elvik, R. (2013). Risk of road accident associated with the use of drugs: a systematic review and meta-analysis of evidence from epidemiological studies. *Accid Anal Prev, 60*, 254-267. https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.06.017

Gibbings, A., Ray, L. B., Gagnon, S., Collin, C. A., Robillard, R., & Fogel, S. M. (2022). The EEG correlates and dangerous behavioral consequences of drowsy driving after a single night of mild sleep deprivation☆. *Physiology & Behavior*, *252*, 113822. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2022.113822

Gnardellis, C., Tzamalouka, G., Papadakaki, M., & Chliaoutakis, J. E. (2008). An investigation of the effect of sleepiness, drowsy driving, and lifestyle on vehicle crashes. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 11*(4), 270-281. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trf.2008.01.002

Heikoop, D. D., de Winter, J. C. F., van Arem, B., & Stanton, N. A. (2019). Acclimatizing to automation: Driver workload and stress during partially automated car following in real traffic. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *65*, 503-517. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.07.024

Horne, J., & Reyner, L. (1999). Vehicle accidents related to sleep: a review. *Occup Environ Med*, *56*(5), 289-294. https://doi.org/10.1136/oem.56.5.289

Horne, J. A., & Reyner, L. A. (1995). Sleep related vehicle accidents. *Bmj*, *310*(6979), 565-567. https://doi.org/10.1136/bmj.310.6979.565

Horne, J. A., Reyner, L. A., & Barrett, P. R. (2003). Driving impairment due to sleepiness is exacerbated by low alcohol intake. *Occup Environ Med*, *60*(9), 689-692. https://doi.org/10.1136/oem.60.9.689

Hu, W., & Donnell, E. T. (2011). Severity models of cross-median and rollover crashes on rural divided highways in Pennsylvania. *Journal of Safety Research*, *42*(5), 375-382. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsr.2011.07.004

Huang, J., Liu, Y., & Peng, X. (2022). Recognition of driver's mental workload based on physiological signals, a comparative study. *Biomedical Signal Processing and Control*, *71*, 103094. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.103094

Intini, P., Berloco, N., Coropulis, S., Fonzone, A., & Ranieri, V. (2024). Aberrant behaviors of drivers involved in crashes and related injury severity: Are there variations between the major cities in the same country? *Journal of Safety Research*, *89*, 64-82. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsr.2024.01.010

Karimi, S., Aghabayk, K., & Moridpour, S. (2022). Impact of driving style, behaviour and anger on crash involvement among Iranian intercity bus drivers. *IATSS Research*, *46*(4), 457-466. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2022.07.003

Kaur, A., Williams, J., Recker, R., Rose, D., Zhu, M., & Yang, J. (2023). Subsequent risky driving behaviors, recidivism and crashes among drivers with a traffic violation: A scoping review. *Accident Analysis & Prevention*, *192*, 107234. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107234

Knipling, R. R., & Wang, J. (1994). *Crashes and Fatalities Related to Driver Drowsiness/Fatigue*.

Kuo, Y.-J. S., C.; Schick, B.; Nissing, D. (2019). Workload Evaluation of Effects of a Lane Keeping Assistance System with Physiological and Performance Measures. *In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe*.

Li, D.-H., Liu, Q., Yuan, W., & Liu, H.-X. (2010). Relationship between fatigue driving and traffic accident. *Journal of traffic and transportation engineering (Xi'an, Shaanxi), 10*(2), 104-109. http://dx.doi.org/

Liu, D., Li, D., Sze, N. N., Ding, H., & Song, Y. (2023). An integrated data- and theory-driven crash severity model. *Accident Analysis & Prevention*, *193*, 107282. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107282

Liu, Y.-C., & Wu, T.-J. (2009). Fatigued driver's driving behavior and cognitive task performance: Effects of road environments and road environment changes. *Safety Science*, *47*(8), 1083-1089. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2008.11.009

Loeches De La Fuente, H., Berthelon, C., Fort, A., Etienne, V., De Weser, M., Ambeck, J., & Jallais, C. (2019). Electrophysiological and performance variations following driving events involving an increase in mental workload. *European Transport Research Review*, *11*(1), 42. https://doi.org/10.1186/s12544-019-0379-z

Logan, B., Kacinko, S. L., & Beirness, D. J. (2016). An evaluation of data from drivers arrested for driving under the influence in relation to per se limits for cannabis. *AAA Foundation for Traffic Safety*.

Lyznicki, J. M., Doege, T. C., Davis, R. M., & Williams, M. A. (1998). Sleepiness, driving, and motor vehicle crashes. Council on Scientific Affairs, American Medical Association. *Jama*, *279*(23), 1908-1913. https://doi.org/10.1001/jama.279.23.1908

Martikainen, K., Hasan, J., Urponen, H., Vuori, I., & Partinen, M. (1992). Daytime sleepiness: a risk factor in community life. *Acta Neurol Scand*, *86*(4), 337-341. https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.1992.tb05097.x

McCartt, A. T., Ribner, S. A., Pack, A. I., & Hammer, M. C. (1996). The scope and nature of the drowsy driving problem in New York state. *Accident Analysis & Prevention*, *28*(4), 511-517. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0001-4575(96)00021-8

Meteier, Q., Capallera, M., Ruffieux, S., Angelini, L., Abou Khaled, O., Mugellini, E., Widmer, M., & Sonderegger, A. (2021). Classification of Drivers' Workload Using Physiological Signals in Conditional Automation [Original Research]. *Frontiers in Psychology*, *12*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.596038

MT, C. (1999). Fatigue' among young male night-time car drivers: is there a risk-taking group? *Safety Science*, *33*(1-2), 47-57.

NHTSA. (1998). *Expert Panel on Driver Fatigue and Sleepiness*.

Öz, B., Özkan, T., & Lajunen, T. (2010). Professional and non-professional drivers' stress reactions and risky driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *13*(1), 32-40. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trf.2009.10.001

Pan, H., Wang, Y., & Szűcs, G. (2023). Work-traffic crashes and aberrant driving behaviors among full-time ride-hailing and taxi drivers: a comparative study. *Transportation Letters*. https://doi.org/https://doi.org/10.1080/19427867.2022.2157075

Perello-March, J. R., Burns, C. G., Woodman, R., Elliott, M. T., & Birrell, S. A. (2022). Driver State Monitoring: Manipulating Reliability Expectations in Simulated Automated Driving Scenarios. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, *23*(6), 5187-5197. https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3050518

Philip, P., Sagaspe, P., Taillard, J., Moore, N., Guilleminault, C., Sanchez-Ortuno, M., Akerstedt, T., & Bioulac, B. (2003). Fatigue, sleep restriction, and performance in automobile drivers: a controlled study in a natural environment. *Sleep*, *26*(3), 277-280. https://doi.org/10.1093/sleep/26.3.277

Powell, N. B., Schechtman, K. B., Riley, R. W., Guilleminault, C., Chiang, R. P., & Weaver, E. M. (2007). Sleepy Driver Near-misses May Predict Accident Risks. *Sleep-N. Y.Westchest*, *30*(3), 331.

Qi, G., Zhao, S., Ceder, A., Guan, W., & Yan, X. (2021). Wielding and evaluating the removal composition of common artefacts in EEG signals for driving behaviour analysis. *Accident Analysis & Prevention*, *159*, 106223. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106223

Ren, X., Jin, Z., & Kang, H. (2007). Relationships between fatigue driving and age, driving experience. *Road Traffic Saf*, *7*(5), 20-22.

Reyner, L. A., & Horne, J. A. (1998). Falling asleep whilst driving: are drivers aware of prior sleepiness? *Int J Legal Med*, *111*(3), 120-123. https://doi.org/10.1007/s004140050131

Roehrs, T., & Roth, T. (2001). Sleep, sleepiness, and alcohol use. *Alcohol Res Health*, *25*(2), 101-109.

Salminen, S., & Lähdeniemi, E. (2002). Risk factors in work-related traffic. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *5*(1), 77-86. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1369-8478(02)00007-4

Shao, X., Chen, F., Ma, X., & Pan, X. (2022). The impact of lighting and longitudinal slope on driver behaviour in underwater tunnels: A simulator study. *Tunnelling and Underground Space Technology*, *122*, 104367. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tust.2022.104367

Smith, D. V., & Huettel, S. A. (2010). Decision neuroscience: neuroeconomics. *WIREs Cognitive Science*, *1*(6), 854-871. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/wcs.73

Smith, R. C., Turturici, M. & Camden, M.C. (2018). Countermeasures against prescription and over-the-counter drug-impaired driving. *AAA Foundation for Traffic Safety*.

Sriranga, A. K., Lu, Q., & Birrell, S. (2023). A Systematic Review of In-Vehicle Physiological Indices and Sensor Technology for Driver Mental Workload Monitoring. *Sensors (Basel)*, *23*(4). https://doi.org/10.3390/s23042214

Stewart, K. (2006). Overview and summary. Drugs and Traffic: A Symposium (Transportation Research Circular, Number E-C096, pp. 2-10.),

Stutts, J. C., Wilkins, J. W., & Vaughn, B. V. (1999). Why Do People Have Drowsy Driving Crashes? *AAA Foundation for Traffic Safety*.

Vanlaar, W., Simpson, H., Mayhew, D., & Robertson, R. (2008). Fatigued and drowsy driving: A survey of attitudes, opinions and behaviors. *Journal of Safety Research*, *39*(3), 303-309. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsr.2007.12.007

Wen, H., Sze, N. N., Zeng, Q., & Hu, S. (2019). Effect of Music Listening on Physiological Condition, Mental Workload, and Driving Performance with Consideration of Driver Temperament. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(15), 2766. https://www.mdpi.com/1660-4601/16/15/2766

Wu, Q., Zhang, G., Chen, C., Tarefder, R., Wang, H., & Wei, H. (2016). Heterogeneous impacts of gender-interpreted contributing factors on driver injury severities in single-vehicle rollover crashes. *Accident Analysis & Prevention*, *94*, 28-34. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.04.005

Yang, H., Hu, N., Jia, R., Zhang, X., Xie, X., Liu, X., & Chen, N. (2024). How does driver fatigue monitor system design affect carsharing drivers? An approach to the quantification of driver mental stress and visual attention. *Travel Behaviour and Society*, *35*, 100755. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tbs.2024.100755

Zeng, C., Wang, W., Chen, C., Zhang, C., & Cheng, B. (2020). Sex Differences in Time-Domain and Frequency-Domain Heart Rate Variability Measures of Fatigued Drivers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(22), 8499. https://www.mdpi.com/1660-4601/17/22/8499

Zhang, Y., Guo, H., Zhou, Y., Xu, C., & Liao, Y. (2023). Recognising drivers' mental fatigue based on EEG multi-dimensional feature selection and fusion. *Biomedical Signal Processing and Control*, *79*, 104237. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bspc.2022.104237

Zheng, Y., Ma, Y., Cammon, J., Zhang, S., Zhang, J., & Zhang, Y. (2022). A new feature selection approach for driving fatigue EEG detection with a modified machine learning algorithm. *Computers in Biology and Medicine*, *147*, 105718. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2022.105718

پرتال جامع علوم انسانی