

REVIEW ARTICLE

## A Review of the Studies on Driver Drowsiness Detection Sensors and Proposing Hybrid Diagnostic Methods and Efficient Model Design

Naser Nik Afshar<sup>1</sup>, Mostafa Kamali<sup>2,3</sup>, Elham Aklaghi Pirposhteh<sup>4</sup>, Hesamedin Askai Majabadi<sup>5</sup>, Nasir Amanat<sup>5,6</sup>, Mohsen Poursadeghiyan<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Department of Rehabilitation Management, University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Department of Health Information Sciences, Faculty of Management and Medical Information Sciences, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran

<sup>3</sup> Vice Chancellery of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

<sup>4</sup> Department of Occupational Health Engineering, School of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>5</sup> Nursing Care Research Center, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran

<sup>6</sup> Emergency nursing department, Nursing and midwifery Faculty, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran

<sup>7</sup> Social Determinants of Health Research Center, Ardabil University of Medical Sciences, Ardabil, Iran

Received: 2021-03-23

Accepted: 2022-10-25

### ABSTRACT

**Introduction:** In recent years, driver's drowsiness has been one of the leading causes of road accidents, which can lead to physical injuries, death, and significant economic losses. Statistics show that an efficient system is needed to detect the driver's drowsiness, that gives the necessary warning before an unfortunate event occurs. Therefore, this review study was conducted to investigate the studies on driver's drowsiness sensors and to present a combination of diagnostic methods and an efficient model design.

**Material and Methods:** This narrative review study was conducted through a systematic search using "driver" and "drowsiness detection" as search keywords in indexing databases including Scopus, PubMed, and web of sciences. The search encompassed the latest related researches conducted in this field from 2010 to September 2020. The reference lists were also reviewed to find further studies.

**Results:** In general, researchers evaluate driver's drowsiness using three methods including vehicle-based measurement, behavioural measurement, and physiological measurement. The details and how these measurements are made make a big difference to the existing systems. In this study, which is a narrative review, the three mentioned measurements were examined using sensors and also the advantages and limitations of each were discussed. Real and simulated driving conditions were also compared. In addition, different ways to detect drowsiness in the laboratory were examined. Finally, after an analytical comparison of the methods of diagnosing drowsiness, a diagram was presented based on which an efficient and combined model was developed.

**Conclusion:** Taking into account the limitations of each of the methods, we need a combination of behavioural, performance, and other measures to have an efficient drowsiness diagnosing model. Such model must be tested using simulations and in real world situations.

**Keywords:** Drowsiness, Consciousness, Traffic Accident, Automobile Driving, Detection sensors

### HOW TO CITE THIS ARTICLE

Nik Afshar N, Kamali M, Aklaghi Pirposhteh E, Askai Majabadi H, Amanat N, Poursadeghiyan M. A Review of the Studies on Driver Drowsiness Detection Sensors and Proposing Hybrid Diagnostic Methods and Efficient Model Design. *J Health Saf Work*. 2023; 13(1): 164-187.

\* Corresponding Author Email: [poursadeghiyan@gmail.com](mailto:poursadeghiyan@gmail.com)

Copyright © 2023 The Authors.

Published by Tehran University of Medical Sciences

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

### 1. INTRODUCTION

Driver drowsiness is a nightmare for passengers. In Iran, road traffic injuries are the main cause of permanent injuries and the second leading cause of death. Drowsiness is one of the main causes of fatal road accidents and usually refers to the feeling of abnormal drowsiness during the day. People who are drowsy may fall asleep at the wrong time or at the wrong place. There are a few studies on detecting driver drowsiness. Due to the wide variety of studies in this field and the lack of review of the advantages and limitations of each of these methods, separately and together, this study was aimed at reviewing studies on driver drowsiness detection sensors and proposing a hybrid diagnostic methods and efficient model design

### 2. MATERIAL AND METHODS

This study was performed through a systematic search using the keywords “drivers” and “drowsiness diagnosis” in journal indexing databases including Scopus, Pubmed, and web of sciences. The search timeframe was limited from the early 2010 to September 2021. In addition, the reference lists of final studies were reviewed to find more studies. Studies have used various methods to determine driver’s drowsiness based on different measurement methods. Therefore, this study is a review of drowsiness detection sensors and presents a hybrid model of drowsiness detection while driving.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

- *Various methods for measuring drowsiness*

- 1) Mental assessment, which uses the

**Table 1: Specific (typical) studies performed on driver drowsiness using behavioral scales**

Reference	Year of publication	Recognition rate	Classification	Feature extraction	Detection technique	Measuring drowsiness	Sensor type
Flores	2010	93%	SVM	Condensation algorithm	Gabor filter	Eye state	IR Camera
Dang	2010	98%	Region Mark Algorithm	Duration of eyelid closure, number of continuous blinks, frequency of blinking	Cascaded Classifiers Algorithm detects face and Diamond searching algorithm to trace the face	Blink	Simple Camera
Zhang	2010	99%	SVM	Unscented Kalman filter algorithm	Haar Algorithm to detect face	PERCLOS	Camera with IR Illuminator
Shen	2012	92%	Ratio of eye-height and eye-width	Red eye effect, Texture detection Method	Ada-boost	Pupil	CCD <sup>1</sup> micro camera with Infra-Red Illuminator
Tadesse	2014	97%	HMM and SVM	Eye tracking based on color and geometrical features	HMM <sup>2</sup> TECHNIQUE	Eye closure and other	Infra-red (IR) camera
George	2016	98.32%	Viola-Jones algorithm	Eye gaze	CNN <sup>3</sup> TECHNIQUE	Viola and Jones algorithm	Convolutional neural network
Manu	2016	94.58%	SVM	Binary SVM with Linear kernel	linear support vector machine	Eye closure and Yawning	Camera
Reddy	2017	91.6%	MTCNN <sup>4</sup> and DDDN <sup>5</sup>	Eye state	CNN TECHNIQUE	Eye state and mouth	Driver monitoring system
Tipprasert	2019	99.47%	SVM	(face, eye, mouth, and eyes closure and yawning) detection	HOG <sup>6</sup>	Eye closure and Yawning	Infra-red (IR) camera
Lahoti	2020	97%	SVM	Eye aspect ratios (EAR) and mouth aspect ratios (MAR)	CNN TECHNIQUE	Aspect ratios module	Camera

<sup>1</sup>Color-Capture Device, <sup>2</sup>Hidden Markov Model, <sup>3</sup>Convolution Neural Networks, <sup>4</sup>Multi-Task Cascaded Convolutional Networks, <sup>5</sup>Driver Drowsiness Detection Network, <sup>6</sup>Histogram of Oriented Gradients

Table 2: Specific (typical) studies performed on driver drowsiness using physiological scales

Reference	Year of publication	Classification accuracy for detection (%)	Classification	Feature extraction	Preprocessing	Sensor type
Chin	2010	88.7% (10 subjects)	Mahalanobis Distance	512 point Fast Fourier Transform with 448 point overlap	Low pass filter 32 Hz	EEG
Liu	2010	84% (50 subjects)	Hidden Markov Model	Wavelet packet analysis with Daubechies 10 as mother wavelet	Least mean square algorithm and Visual Inspection	EEG
Patel	2011	90% (12 drivers)	Neural network	Fast Fourier Transform (FFT)	Band Pass Filter	ECG
Patel	2011	90%	Neural network based artificial intelligent algorithm	Heart rate variability (HRV)	Parasympathetic (HF) and sympathetic (LF) activities using LF/HF ratio	ECG
Khushaba	2011	95–97% (31 drivers)	LDA, LIBLINEAR <sup>1</sup> , KNN <sup>2</sup> , SVM	The Fuzzy Mutual-Information (MI)-based Wavelet-Packet Algorithm	Optimal Wavelet Packet, Fuzzy Wavelet Packet	EEG, ECG, EoG
Fu	2012	96.7% (6 drivers)	Self-organizing Neural Fuzzy Inference Network	Fast Fourier Transform	Independent Component Analysis Decomposition	EEG
Muruganezhumali	2015	80% (13 subjects)	Skin Conductance Response (SCR), and Skin Conductance Level (SCL)	High sensitivity to ambient temperature	Band Pass Filter	Galvanic skin Response (GSR)
Mårtensson	2018	94.1% (86 drivers)	SVM	Sleep/wake predictor (SWP)	Low pass filtered	PCD <sup>3</sup>
Gao	2019	97.37% (2800 samples)	Spatial-temporal convolutional neural network (ESTCNN <sup>4</sup> )	Eight competitive methods	Independent Component Analysis Decomposition	EEG
Persson	2020	85% (86 drivers)	Heart rate variability (HRV)	Real Road Driving Conditions	Training four binary classifiers (k-nearest neighbours, support vector machine, AdaBoost, and random forest)	ECG

<sup>1</sup> A Library for Large Linear Classification, <sup>2</sup>k-nearest neighbors' algorithm, <sup>3</sup> power spectrum density, <sup>4</sup> EEG-Based Spatio-Temporal Convolutional Neural Network

criterion of self-reporting through various ocular scales, such as the Karolinska Sleepiness Scale (KSS) and Stanford Sleepiness Scale (SSS). 2) Assessment based on vehicle scales uses sensors on specific parts of vehicle and is based on steering wheel movement (SWM) and standard deviation of lane position (SPLP) [8, 9]. 3) The evaluation is based on a behavioral scale (Table 1) such as yawning, eyelids, blinking, head position, etc. If the sign of drowsiness is detected by the camera, the system warns the driver. 4) Evaluation based on

physiological scales (Table 2) such as correlation between physiological signals of electrocardiogram (ECG) and electromyogram (EMG), Electro-oculogram (EOG) and Electro Encephalogram (EEG), and driver drowsiness.

**- Comparison of real and simulated driving conditions**

Results in real driving conditions are different from simulations, because in real mode, a moving car can create a variety of situations such as different

background exposure and sound vibration and using sunglasses and hats. Drivers on real roads also feel less safe at high speeds. Drivers in the simulated environment do not take this risk. The majority of experiments in simulated conditions were based on behavioral scales and the results showed that this method is a reliable way of detecting drowsiness.

**An analytical comparison between evaluation methods**

The accuracy and reliability of detecting driver drowsiness using physiological signals is very high compared to other methods. However, the aggressive nature of physiological signaling is an issue that needs to be addressed. In the vehicle-based measure, there are limitations in terms of vehicle type, driver experience, geographical

location, road quality, and ambient light. In addition, these methods are time consuming and need to analyze driver behavior, which makes it unable to detect sleep deprivation. In the case of driver behavioral-based measure, sudden changes in the head and eyes, and changes in light intensity can reduce the accuracy of drowsiness detection.

The proposed method is based on the measure, posture, and behavior of the driver and infrared is used for imaging, which allows to film the driver at night. However, this method requires different categories of eye and face condition.

**- A hybrid model and efficient model design**

It seems that the most important way to diagnose drivers' drowsiness is to use a combination of simulated methods in the environment, which use

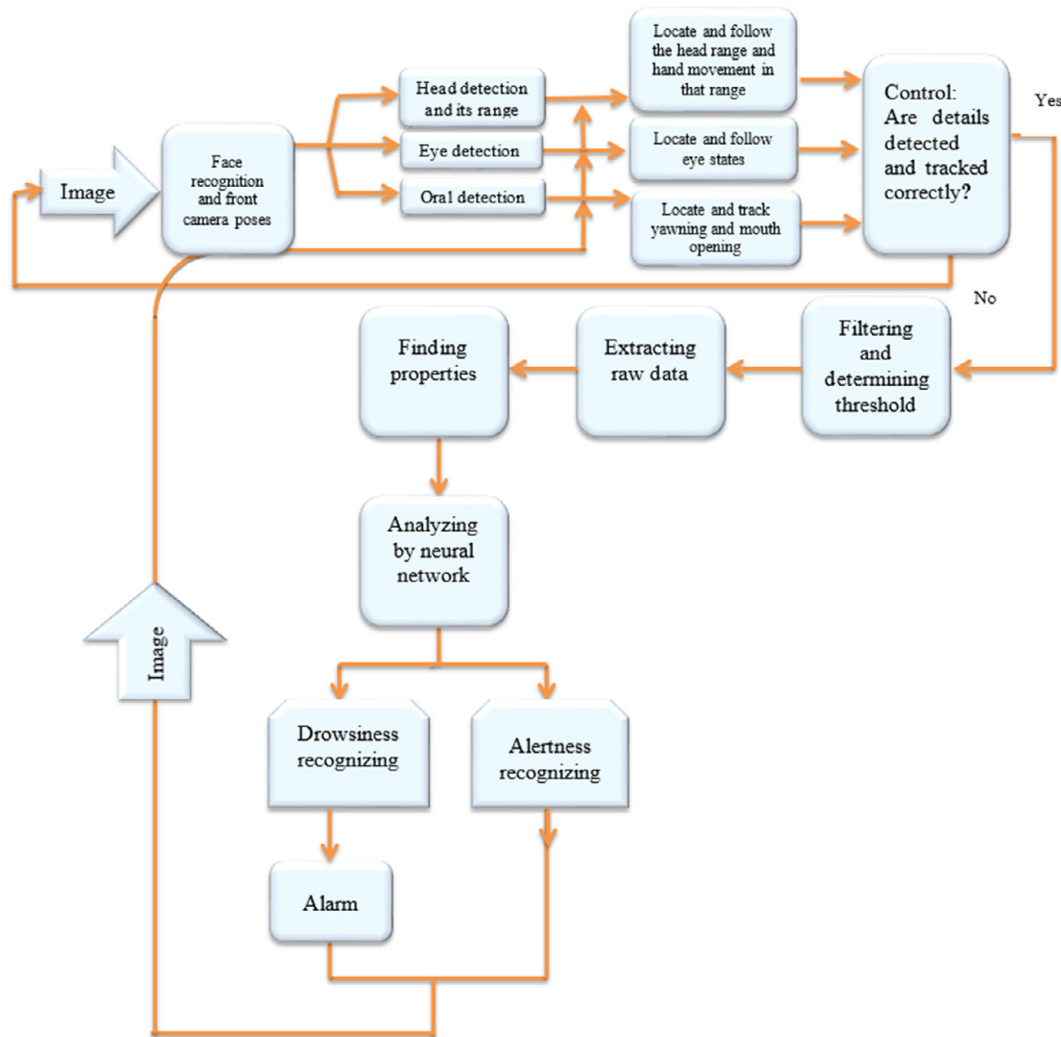


Fig. 1: Proposed model diagram

several methods to diagnose drowsiness. Therefore, except for physiological methods that interfere with the driving operation, a combination of other methods should be used to diagnose drowsiness. The proposed model diagram is presented in Figure 1. The proposed model is based on the advantages and disadvantages of the methods introduced in other studies.

#### **4. CONCLUSION**

Given the high death toll from traffic accidents

in Iran and other developing countries, and the important role of drowsiness in the occurrence of road accidents, providing a combined and efficient model that does not interfere with driving can save the lives of many of drivers.

#### **5. ACKNOWLEDGMENT**

The study was founded by Ardabil University of Medical Sciences (IR.ARUMS.REC.1401.151).

## مروری بر مطالعات سنسورهای تشخیص دهنده خواب آلودگی راننده و ارائه روش‌های ترکیبی تشخیصی و طرح مدل کارآمد

ناصر نیک افشار<sup>۱</sup>، مصطفی کمالی<sup>۲</sup>، الهام اخلاقی پیرپشته<sup>۴</sup>، حسام‌الدین عسگری مجدآبادی<sup>۵</sup>، نصیر امانت<sup>۶</sup>، محسن پورصادقیان<sup>۷\*</sup>

<sup>۱</sup> گروه مدیریت توان بخشی، دانشگاه علوم توان بخشی و سلامت اجتماعی، تهران، ایران

<sup>۲</sup> معاونت بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران

<sup>۳</sup> گروه علوم اطلاعات سلامت، دانشکده مدیریت و اطلاع‌رسانی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران

<sup>۴</sup> گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده علوم پزشکی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

<sup>۵</sup> مرکز تحقیقات مراقبت‌های پرستاری، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران

<sup>۶</sup> دپارتمان پرستاری اورژانس، دانشکده پرستاری و مامایی، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران

<sup>۷</sup> مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامت، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۰۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۷

### مکیده

**مقدمه:** در سال‌های اخیر خواب‌آلودگی راننده یکی از دلایل اصلی تصادفات جاده‌ای می‌باشد که می‌تواند منجر به صدمات فیزیکی، مرگومیر و تلفات قابل توجه اقتصادی شود. آمارها نشان می‌دهد که به یک سیستم مناسب برای آشکارساز وضعیت خواب‌آلودگی راننده مورد نیاز می‌باشد، به طوری که بتواند قبل از اینکه رویداد ناگواری اتفاق بیافتد هشدار لازم را بدهد. لذا این مطالعه مروری با هدف بررسی مطالعات سنسورهای تشخیص دهنده خواب‌آلودگی راننده و ارائه روش‌های ترکیبی تشخیصی و طرح مدل کارآمد انجام گرفت.

**روش کار:** این مطالعه مروری توصیفی از طریق یک جستجوی نظام‌مند و با استفاده از کلیدواژه‌های رانندگان و تشخیص خواب‌آلودگی در پایگاه‌های داده بین‌المللی شامل Scopus, Pubmed و web of scienses انجام گرفت که شامل جدیدترین تحقیقات انجام شده مرتبط در این زمینه از سال ۲۰۰۵ تا سپتامبر ۲۰۲۱ بود. همچنین لیست منابع مطالعات نهایی برای یافتن مطالعات بیشتر بررسی شد تا روش‌ها و مطالعات خاص (تیپیک) مورد اشاره واقع شوند و با یکدیگر مقایسه شوند.

**یافته‌ها:** به‌طور کلی محققان خواب‌آلودگی راننده را با استفاده از سه روش اندازه‌گیری بر اساس وسیله نقلیه، اندازه‌گیری رفتاری و اندازه‌گیری فیزیولوژیکی مورد ارزیابی قرار می‌دهند. جزئیات و نحوه انجام این اندازه‌گیری‌ها تأثیر و تفاوت زیادی روی سیستم‌های موجود ایجاد می‌کند. در این مطالعه مروری، هر سه اندازه‌گیری ذکر شده با استفاده از سنسورهای معین بررسی و همچنین مزیت‌ها و محدودیت‌های هر کدام مورد بحث قرار گرفت. مقایسه شرایط رانندگی واقعی و شبیه‌سازی شده نیز مورد بحث قرار گرفت. همچنین راه‌های مختلفی که میزان خواب‌آلودگی را به صورت آزمایشگاهی نشان می‌دهد، مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت پس از مقایسه تحلیلی بین روش‌های تشخیص خواب‌آلودگی، یک دیاگرام پیشنهادی برای ارائه مدل کارآمد که به صورت ترکیبی بود ارائه شد.

**نتیجه گیری:** به‌طور کلی می‌توان بیان داشت که با توجه به محدودیت‌های هر یک از روش‌ها، نیاز است که با طراحی سیستم آشکارساز خواب‌آلودگی که ترکیبی از معیارهای رفتاری، عملکردی و سایر اندازه‌گیری‌ها است، بتوان به دقت سطح هوشیاری راننده را مشخص کرد. در نهایت این مدل ترکیبی (کارآمد) باید در محیط شبیه‌سازی ساخته و تست شده باشد تا با ارسال هشدار به راننده‌ای خواب‌آلود از تعداد تصادفات جاده‌ای اجتناب شود.

کلمات کلیدی: خواب‌آلودگی، هوشیاری، تصادفات جاده‌ای، رانندگی خودرو، سنسورهای تشخیص دهنده

\* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: [poursadeghiyan@gmail.com](mailto:poursadeghiyan@gmail.com)

## مقدمه

از ۵۰ سال پیش تحقیقات گسترده‌ای روی این موضوع انجام شده است (۷).

برای مشخص کردن خواب‌آلودگی، اندازه‌گیری‌های مختلفی استفاده شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. الف) اندازه‌گیری بر اساس وسیله نقلیه شامل تعداد مسیرها، انحراف از حالت خط‌کشی جاده، حرکت فرمان اتومبیل، فشار پدال گاز و ... به صورت ثابت برای هشدار دادن به‌طور ثابت استفاده می‌شود و هر تغییری در این موارد هشداردهنده مشخص می‌کند که راننده خواب‌آلود است (۸، ۹). ب) اندازه‌گیری بر اساس نظارت رفتار راننده، مانند خمیازه کشیدن، دریچه چشم، پلک زدن، حالت سر و غیره می‌باشد که اگر علامت خواب‌آلودگی مشخص شود به‌وسیله دوربین شناسایی شده و به راننده هشدار می‌دهد (۱۰-۱۲). ج) اندازه‌گیری اطلاعات فیزیولوژیکی مانند همبستگی بین سیگنال‌های فیزیولوژیکی الکتروکاردیوگرام (ECG<sup>۳</sup>) و الکترومیوگرام (EMG<sup>۴</sup>)، الکترواوکلوگرام (EOG<sup>۵</sup>) و الکتروانسفالوگرام (EEG<sup>۶</sup>) و خواب‌آلودگی راننده توسط اکثر محققان مورد مطالعه قرار گرفته است (۱۳-۱۷).

## تعریف خواب‌آلودگی

اگرچه یک تعریف جهانی قابل قبول برای خواب‌آلودگی وجود ندارد، اما می‌توان شدت خواب‌آلودگی را بر اساس میزان آن تعیین کرد (۶، ۱۸). خواب‌آلودگی معمولاً به احساس خواب‌آلودگی غیرطبیعی در طول روز اشاره دارد. افرادی که خواب‌آلود هستند ممکن است در موقعیت‌های نامناسب یا زمان‌های نامناسب به خواب بروند (۱۹). این در حالی است که خستگی دوره گذرا بین بیداری و خواب است و در صورت عدم وقفه می‌تواند منجر به خواب شخص گردد (۲۰). باید توجه داشت که هر خستگی منجر به خواب‌آلودگی نمی‌گردد، همچنین هر خواب‌آلودگی ممکن است ریشه خستگی نداشته باشد، بلکه ریشه آن ممکن

گزارش سازمان بهداشت جهانی نشان می‌دهد که ۹۳ درصد از مرگ‌ومیرهای ناشی از تصادفات جاده‌ای در کشورهای با درآمد کم و متوسط رخ می‌دهد که این آسیب‌ها علت اصلی مرگ‌ومیر در کودکان و بزرگسالان جوان در محدوده سنی ۵ تا ۲۹ ساله می‌باشد (۱).

بر اساس گزارش‌های NHTSA<sup>۱</sup> با تخمین مرسوم، هر سال مجموعاً ۱۰۰ هزار تصادف وسیله نقلیه به دلیل خواب‌آلودگی اتفاق می‌افتد که نتیجه این تصادفات حدود ۱۵۵۰ مرگ، ۷۱ هزار صدمات و ۱۲/۵ بیلیون دلار تلفات مالی است (۲). سازمان ملی خواب آمریکا (NSF<sup>۲</sup>)، US گزارش داده که ۵۴ درصد رانندگان جوان که در حال رانندگی هستند احساس خواب می‌کنند و ۲۸ درصد آن‌ها واقعاً می‌خوابند (۳).

در ایران، صدمات ناشی از ترافیک جاده‌ای علت اصلی جراحات دائمی و دومین علت مرگ‌ومیر هستند (۴). در این میان خواب‌آلودگی به‌عنوان علت اصلی تصادفات مرگبار جاده‌ای شناخته می‌شود. در این‌گونه حوادث، هوشیاری فرد در پایین‌ترین سطح قرار دارد. خواب‌آلودگی ناشی از کم‌خوابی و رانندگی در شب ۲۰ درصد تصادفات جاده‌ای را به خود اختصاص می‌دهد (۵). راننده‌ای که احساس خواب می‌کند کنترل فرمان وسیله نقلیه را از دست می‌دهد و در نتیجه ممکن است با وسیله نقلیه دیگر یا با یک شیء برخورد کند. به‌منظور جلوگیری از تصادفات ویران‌کننده، حالت خواب‌آلودگی راننده باید هشدار داده شود. خواب‌آلودگی، در نتیجه خواب ناکافی است که نقش کلیدی در تصادفات منجر به آسیب و مرگ‌ومیر دارد (۶). تشخیص خواب‌آلودگی در حیطه رانندگی و مشاغل که از حساسیت زیادی برخوردار هستند و نیاز به هوشیاری کامل دارند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. از جمله این مشاغل می‌توان به پرواز و خلبانی، سیستم‌های مراقبت نظارتی و اتاق‌های کنترل، سامانه‌های نظامی و تحقیقات و مطالعات پزشکی اشاره کرد. در همین راستا

3. Electrocardiogram  
4. Electromyogram  
5. Electro-oculogram  
6. Electro Encephalogram

1. National Highway Traffic Safety Administration  
2. National Sleep Foundation



شکل ۱: طراحی و توسعه جاده برای تعیین حالت خواب‌آلودگی راننده

خواب‌آلودگی راننده از طریق ترکیب چند روش مختلف انجام شده است. همچنین با توجه به گسترده و متنوع بودن مطالعات موجود در این زمینه و عدم بررسی مزیت‌ها و محدودیت‌های هر کدام از این روش‌ها به صورت مجزا و توأم، این مطالعه به صورت مروری با هدف بررسی مطالعات سنسورهای تشخیص‌دهنده خواب‌آلودگی راننده و ارائه روش‌های ترکیبی تشخیصی و طرح مدل کارآمد انجام گرفت.

### روش کار

این مطالعه از طریق یک جستجوی نظام‌مند و با استفاده از کلیدواژه‌های رانندگان، تشخیص خواب‌آلودگی در پایگاه‌های داده بین‌المللی شامل Scopus, Pubmed و web of scienses انجام گرفت. این مقالات شامل تحقیقات انجام شده مرتبط از ابتدا سال ۲۰۰۵ تا سپتامبر ۲۰۲۱ می‌باشد. همچنین لیست منابع مطالعات نهایی برای یافتن مطالعات بیشتر بررسی شد تا روش‌ها و مطالعات خاص (تیبیک) مورد اشاره واقع گردند و با یکدیگر مقایسه شوند. در این مطالعه، روش‌های متنوع موجود برای مشخص کردن حالت خواب‌آلودگی یک راننده بر اساس روش‌های اندازه‌گیری مورد بررسی قرار گرفت. لذا این مطالعه مروری بر سنسورهای تشخیص‌دهنده

است به سبب تغییر در ریتم فیزیولوژیکی بدن و تغییر ساعت خواب بدن باشد (۲۱).

ما در این تحقیق به اصول سیستم‌های شناسایی خواب‌آلودگی با شبیه‌سازی رانندگی، با استفاده از قابلیت شناسایی خواب‌آلودگی راننده، هشدار دادن به راننده خواب‌آلود و سایر اقدامات ایمنی پرداخته شد. نمونه‌ای از طراحی و توسعه جاده برای تعیین حالت خواب‌آلودگی راننده در شبیه‌ساز شکل ۱ (۲۲) ارائه شده است. البته سیستم‌های دیگری نیز برای تشخیص خواب‌آلودگی رانندگان طراحی شده‌اند که شامل حسگرهای تعیین محل سر راننده، سیستم شناسایی خیرگی چشم راننده، اندازه‌گیری سیگنال‌های مغزی (EEG) و ضربان قلب، اندازه‌گیری امپدانس سطح پوست و در نهایت تصویربرداری از سطح جاده می‌باشند (۲۳). تشخیص و ردیابی حالات چهره (به خصوص چشم) به سبب عدم اختلال در کار راننده، کاربردی‌تر از سایر روش‌ها بوده و اخیراً بسیار مورد توجه واقع شده است (۲۴)؛ چراکه طراحی سیستمی که وضعیت‌های خستگی و خواب‌آلودگی راننده را تشخیص دهد و در موقع مناسب اعلام خطر نماید، می‌تواند از بروز بسیاری از تصادفات که بعضی اوقات موجب تلفات جانی و مالی می‌شود، جلوگیری نماید.

تاکنون تحقیقات کمی در جهت تلاش برای شناسایی



خواب‌آلودگی و ارائه مدل ترکیبی تشخیص خواب‌آلودگی در حین رانندگی انجام گرفته است.

### یافته‌ها

روش‌های اندازه‌گیری میزان خواب‌آلودگی در رانندگان در شرایط واقعی رانندگی، دستیابی به واکنش خواب‌آلودگی راننده مشکل است. این در حالی است که دسته‌بندی‌های موضوعی برای تعیین میزان خواب‌آلودگی در شرایط شبیه‌سازی شده مفید هستند. مقیاس‌های باقیمانده در تعیین میزان خواب‌آلودگی در شرایط واقعی بهتر عمل می‌کنند (۲۵، ۲۶). در ادامه به تشریح هر یک از روش‌های اندازه‌گیری میزان خواب‌آلودگی در رانندگان از جمله روش‌های ارزیابی ذهنی، روش‌های ارزیابی بر اساس معیار خودرو و روش‌های ارزیابی بر اساس مقیاس رفتاری پرداخته شده است.

#### روش‌های ارزیابی ذهنی

در بسیاری از تحقیقات از ملاک خود گزارش دهی فرد از طریق مقیاس‌های گوناگون چشمی همچون معیارهای خواب‌آلودگی دانشگاه‌های کارولینسکا KSS<sup>۱</sup> و استنفورد SSS<sup>۲</sup> استفاده شده است (۲۷، ۲۸). مقیاس SSS (در مقایسه با KSS) معیاری کوتاه‌تر ولی با توضیحات بیشتر است که اکثراً در محیط‌های صنعتی استفاده می‌شود (۱۸، ۲۹) که توضیحات آن در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به قالب مختصر و کوتاه‌تر جملات KSS از این معیار جهت نمایش در صفحه مقابل راننده بیشتر استفاده می‌گردد که با توجه به مطالعات متعددی که در زمینه معیار و مقیاس KSS آمده است، ما در این تحقیق به توضیح آن می‌پردازیم (۱۹۸، ۳۰). ملاک KSS توضیحات کامل برای خود گزارش‌دهی فرد از احساس کنونی وی می‌باشد که فرد از میزان هوشیاری خود ارائه می‌دهد و یک مقیاس ۹ قسمتی از نوع لیکرت می‌باشد (امتیاز ۱ به معنای احساس فعال بودن، شدیداً هوشیار و امتیاز ۹ به معنای احساس خواب‌آلود با فشار زیاد برای

بیدار ماندن در حال جنگ با خواب برای فرد) است. معیار KSS سنجش خود گزارش‌دهی خواب‌آلودگی در جدول ۲ ارائه شده است.

#### روش‌های ارزیابی بر اساس معیار خودرو

روش دیگری که برای اندازه‌گیری میزان خواب‌آلودگی راننده به کار می‌رود، شامل اندازه‌گیری‌هایی می‌شود که بر اساس وسیله نقلیه صورت می‌گیرد. در بسیاری از نمونه‌ها این اندازه‌گیری‌ها در محیط شبیه‌سازی شده، تعیین شده است که با جایگزینی حسگرها در اجزای مختلف خودروها صورت می‌گیرد و شامل چرخ‌های فرمان و پدال سرعت می‌شود. علائم از طریق حسگرها ارسال شده و سپس برای تعیین سطح خواب‌آلودگی راننده تجزیه و تحلیل می‌شوند. لی یو<sup>۳</sup> و همکاران (۳۱) بر روی مقیاس‌های کنونی موجود در خودروها بررسی‌هایی انجام دادند و آن‌ها را منتشر کردند. برخی از محققان دریافتند که کم‌خوابی می‌تواند منجر به تفاوت در سرعت رانندگی شود (۳۲). با این وجود دو مقیاس معمول به کار گرفته شده در اندازه‌گیری‌های مربوط به خودرو، حرکت فرمان خودکار و انحراف معیار موقعیت مسیر هستند.

#### مقیاس مربوط به گشتاور فرمان وسیله نقلیه (SWM)

این روش در تشخیص خواب‌آلودگی راننده به میزان گسترده‌ای به کار گرفته شده است. با استفاده از حسگر زاویه‌ای که بر روی ستون فرمان نصب شده است. واکنش راننده اندازه‌گیری شده است. در هنگام خواب‌آلودگی تعداد میکرو اصلاحات<sup>۴</sup> بر روی چرخنده فرمان در مقایسه با رانندگی در حالت طبیعی کاهش می‌یابد، فیرکلوگ<sup>۵</sup> و گراهام<sup>۶</sup> در تحقیقات خود دریافتند، رانندگانی که از میزان خواب کافی برخوردار نیستند، نیازمند تطبیق یافتن با موقعیت جانبی در مسیر هستند. از این رو بر اساس SWM های کوچک، تعیین وضعیت خواب‌آلودگی راننده

3. Liu  
4. Steering Wheel Movement  
5. Micro-corrections  
6. Fairclough  
7. Graham

1. Karolinska Sleepiness Scale  
2. Stanford Sleepiness Scale

جدول ۱: مقیاس خواب‌آلودگی برحسب Stanford Sleepiness Scale

وضعیت	عدد
کاملاً بیدار و هوشیار، احساس فعال و سرزنده بودن	۱
عملکرد در سطح بالا اما نه در حد اعلا، توانایی تمرکز داشتن	۲
بیدار بودن اما در حال آرامش، آماده پاسخگویی ولی عدم هوشیاری کامل	۳
کمی گنگ، کند عمل کردن	۴
گنگ، عدم تمایل برای بیدار ماندن، کمی تحرک	۵
خواب‌آلوده، منگ، جنگیدن در برابر خواب، تمایل به دراز کشیدن	۶
بیشتر از این نمی‌توان با خواب مبارزه کرد، خواب به‌زودی شروع می‌شود، داشتن تصوراتی مشابه خواب دیدن	۷

جدول ۲: مقیاس خواب‌آلودگی کارولینسکا (KSS)

نام و نام خانوادگی:	ساعت:
وضعیت	عدد
شدیداً هوشیار	۱
بسیار هوشیار	۲
هوشیار	۳
نسبتاً هوشیار	۴
نه هوشیار، نه خواب‌آلود	۵
دارای برخی نشانه‌های خواب‌آلودگی	۶
خواب‌آلوده اما فشاری برای بیدار ماندن به خود نمی‌آورم	۷
خواب‌آلود با مقداری فشار برای بیدار ماندن	۸
خواب‌آلود با فشار زیاد برای بیدار ماندن در حال جنگ با خواب	۹

محیط شبیه‌سازی‌شده نرم‌افزار به‌تنهایی SDLP را ارائه می‌دهد و در نمونه آزمایش‌های زمینه‌ای موقعیت مسیر با استفاده از دوربین‌های خارجی پیگردی شده است. اینگر<sup>۲</sup> و همکاران (۳۶) آزمایشی برای آمارهای عددی نتیجه‌گیری شده که بر اساس SDLP به‌دست‌آمده بودند انجام دادند و دریافتند که هرچقدر دسته‌بندی KSS افزایش یابد، SDLP (متر) نیز افزایش یافته است.

به‌طور خلاصه، مطالعات زیادی تعیین کرده‌اند که مقیاس‌های مربوط به وسایل نقلیه، پیشگویی‌کننده ضعیفی از عملکرد ریسک خطا هستند، زیرا از ضعف تعیین میزان خواب‌آلودگی برخوردارند. علاوه بر این، معیارهای مربوط

ممکن می‌شود (۳۲، ۳۳، ۳۴)؛ بنابراین در صورت نیاز، هوشیاری کافی به راننده داده می‌شود و شرایط مناسب برای او فراهم می‌شود (۳۵). در محیط شبیه‌سازی‌شده بادهایی که در جهت نور (چراغ) هستند خودرو را به سمت نور جاده سوق می‌دهند که در طول مسیر منحنی جاده به‌منظور ایجاد تنوع در موقعیت جانبی افزوده شده‌اند و راننده را مجبور به اصلاح SWM می‌کنند (۳۴).

انحراف معیار موقعیت مسیر (SDLP):

انحراف معیار موقعیت مسیر مقیاس دیگری است که سطح خواب‌آلودگی راننده را ارزیابی می‌کند (۲۸). در

2. Ingre

1. Standard Deviation of Lane Position

جدول ۳: مطالعات انجام شده بر روی خواب آلودگی راننده با استفاده از اندازه‌گیری رفتاری

منبع	سال انتشار	میزان تشخیص	دسته‌بندی	استخراج ویژگی	تکنیک تشخیص	اندازه‌گیری خواب آلودگی	نوع سنسور
Bergasa (۴۱)	۲۰۰۶	حدود ۱۰۰٪	فازی	اصلاح الگوریتم فاصله جبری برای تقریب مخروطها و ماشین حالت محدود	دو فیلتر کالامن جهت تشخیص مردمک	PERCLOS, دوره بسته بودن چشم فرکانس پلک زدن	دوربین و چراغ مادون قرمز
Lew (۴۰)	۲۰۰۷	٪۹۶	ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM)	تجزیه موجک	فیلتر گابور	حرکات صورت	دوربین فیلم برداری دیجیتال
D'Orazio (۴۲)	۲۰۰۷	٪۹۵	طبقه‌بندی کننده عصبی	تبدیل موجک گسسته	تبدیل هاف	دوره بسته بودن چشم فرکانس پلک زدن	دوربین سیمی و وب کم
Xiao (۱۰)	۲۰۰۹	۹۱٪/۹۷	آنالیز تشخیص خطی (LDA)	موجک‌های گابور	الگوی مرکز گرانش و طرح خاکستری	خمیازه کشیدن	دوربین تشخیص ضبط رنگ (CCD*)
Yin (۱۲)	۲۰۰۹	۹۸٪/۳۳	Ada boost	الگوی دودویی محلی	فیلتر گابور	ویژگی‌های پویای چند مقیاسی	دوربین
Flores (۵۴)	۲۰۱۰	٪۹۳	ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM)	الگوریتم تراکم	فیلتر گابور	حالت چشم	دوربین مادون قرمز
Dang (۴۳)	۲۰۱۰	٪۹۸	الگوریتم علامت‌گذاری منطقه	مدت بستن پلک، تعداد پلک زدن مداوم، فراوانی پلک زدن چشم	الگوریتم آبخاری طبقه‌بندی برای تشخیص چهره و الگوریتم جستجوی Diamond برای ردیابی صورت	پلک زدن	دوربین ساده
Zhang (۱۱)	۲۰۱۰	۹۹٪	ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM)	الگوریتم فیلتر کالامن بدون بو	الگوریتم Haar برای تشخیص چهره	PERCLOS	دوربین مجهز به چراغ مادون قرمز
Shen (۵۳)	۲۰۱۲	٪۹۲	نسبت ارتفاع و عرض چشم	اثر قرمزی چشم، روش تشخیص بافت	Ada-boost	مردمک	میکرو دوربین دستگاه ضبط رنگ مجهز به چراغ مادون قرمز

ادامه جدول ۳: مطالعات انجام‌شده بر روی خواب‌آلودگی راننده با استفاده از اندازه‌گیری رفتاری

منبع	سال انتشار	میزان تشخیص	دسته‌بندی	استخراج ویژگی	تکنیک تشخیص	اندازه‌گیری خواب‌آلودگی	نوع سنسور
Tadesse (۵۵)	۲۰۱۴	٪۹۷	مدل مارکوف پنهان و ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM)	ردیابی چشم بر اساس رنگ و ویژگی‌های هندسی	مدل مارکوف پنهان (HMM)**)	بستن چشم و موارد دیگر	دوربین مادون قرمز
George (۵۶)	۲۰۱۶	۹۸٪/۳۲	الگوریتم Viola و Jones	نگاه چشم	شبکه‌های عصبی پیچشی (CNN***)	الگوریتم Viola و Jones	شبکه عصبی پیچشی
Manu (۵۷)	۲۰۱۶	۹۴٪/۵۸	ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM)	SVM دودویی با هسته خطی	ماشین‌های بردار پشتیبان خطی	بسته شدن چشم و خمیازه کشیدن	دوربین
Reddy (۵۸)	۲۰۱۷	۹۱٪/۶	شبکه‌های عصبی پیچشی آبخاری چند وظیفه‌ای (MTCNN****) شبکه‌های تشخیص خواب‌آلودگی راننده (DDDN*****)	حالت چشم	شبکه‌های عصبی پیچشی	حالت چشم و دهان	سیستم مانیتورینگ راننده
Tipprasert (۵۹)	۲۰۱۹	۹۹٪/۴۷	ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM)	تشخیص (صورت، بسته شدن چشم، دهان و خمیازه کشیدن)	هیستوگرام گرادین‌های جهت‌دار (HOG*****)	بسته شدن چشم و خمیازه کشیدن	دوربین مادون قرمز
Lahoti (۶۰)	۲۰۲۰	٪۹۷	ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM)	نسبت ابعاد چشم (EAR) و نسبت ابعاد دهان (MAR)	شبکه‌های عصبی پیچشی (CNN)	ماژول نسبت ابعاد تصویر	دوربین

\*Color-Capture Device \*\*Hidden Markov Model

\*\*\*Convolution Neural Networks \*\*\*\*Multi-Task Cascaded Convolutional Networks

\*\*\*\*\*Driver Drowsiness Detection Network \*\*\*\*\*Histogram of Oriented Gradients

زدن‌های سریع و پشت سر هم، چرخش و تکان دادن سر و خمیازه زیاد می‌باشد (۱۰). رویکردهای رفتاری غیرتهاجمی در تعیین سطح خواب‌آلودگی رانندگان کاربرد وسیعی دارد که با اندازه‌گیری رفتار غیرطبیعی آن‌ها محاسبه می‌شود (۴۰). اکثر مطالعات منتشرشده درباره کاربرد رویکردهای رفتاری در تعیین سطح خواب‌آلودگی بر حرکات چشم و چشمک زدن سریع متمرکز شده است (۴۳-۴۱). برخی از مهم‌ترین مطالعات انجام‌شده بر روی خواب‌آلودگی راننده با استفاده از اندازه‌گیری رفتاری در جدول ۳ ارائه شده است.

به خودرو برای تعیین میزان خواب‌آلودگی اختصاص نیافته‌اند. همچنین SDLP منجر به هرگونه رانندگی معیوب می‌شود که شامل رانندگی در شرایطی که تحت تأثیر مصرف الکل و سایر داروها است و یا رانندگی که به دلیل مصرف عوامل استرس‌زا و داروهای کاهش‌دهنده فعالیت بدنی تحت تأثیر قرار گرفته می‌شود (۳۹-۳۷).

روش‌های ارزیابی بر اساس مقیاس رفتاری

شخص خواب‌آلوده در چهره خود چندین جنبش و حرکات اعضای صورت نشان می‌دهد که شامل چشمک

ویژگی‌هایی مانند PERCLOS<sup>۱۰</sup>، خمیازه کشیدن<sup>۱۱</sup>، فرکانس و تغییر زاویه سر<sup>۱۲</sup>، با استفاده از تکنیک استخراج ویژگی مدنظر، مانند تجزیه ویولت<sup>۱۳</sup>، گابور ویولت<sup>۱۴</sup>، تبدیل ویولت گسسته<sup>۱۵</sup> یا الگوریتم تراکم<sup>۱۶</sup> (۱۰، ۴۰، ۴۲، ۵۴) سپس شرایط رفتار تجزیه و تحلیل می‌شود و به صورت رفتار طبیعی اندکی خواب‌آلود و بسیار خواب‌آلود طبقه‌بندی می‌شود. با این حال در تحقیقات و تجزیه و تحلیل‌های مربوط به طبقه‌بندی‌ها یافت شده است که سرعت شناسایی ویژگی صحیح یا درصد موفقیت در میان تعداد شناسایی‌ها بر اساس ابزارهای به کار گرفته شده و تعداد طبقه‌بندی‌ها متفاوت است (۱۰، ۴۰، ۴۲).

روش‌های ارزیابی بر اساس مقیاس‌های فیزیولوژیکی پژوهشگران با بررسی متغیرهای فیزیولوژیک افراد مختلف به این نتیجه رسیده‌اند که در هنگام خواب‌آلودگی برخی از علائم حیاتی انسان مانند ضربان قلب، میزان تنفس و دمای بدن کاهش می‌یابد (۶۱، ۶۲) که این موارد از فاکتورهای مهم و تأثیرگذار در هنگام رانندگی ایمن محسوب می‌گردد. در قسمت بعدی به توضیح مهم‌ترین مقیاس‌های فیزیولوژیکی بدن توسط محققین پرداخته شده است.

الکتروکاردیوگرام (ECG)، الکترومیوگرام (EMG)، الکتروانسفالوگرام (EEG) و الکتروالکوگرام (EOG) برخی از محققان حرکت سیگنال‌های چشمی تحت عنوان EOG را برای تعیین میزان خواب‌آلودگی راننده از طریق حرکات چشم استفاده کرده‌اند (۱۵، ۳۰، ۶۷). این سیگنال، تفاوت بالقوه الکتریکی را فراهم می‌کند که جهت‌یابی چشم‌ها را منعکس می‌کند، این زمینه الکتریکی سیگنال اندازه‌گیری شده ی EOG است.

برخی از محققان حرکت افقی چشم را از طریق

شاخص PERCLOS<sup>۱</sup> در بسیاری از این مطالعات مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته شده است. این اندازه‌گیری‌ها به شکل مقیاس معتبری برای پیش‌بینی سطح خواب‌آلودگی درآمدند و در تولیدات بازرگانی از قبیل ماشین‌های جستجو نیز به کار گرفته شده‌اند (۱۱، ۴۴-۴۶). برخی از محققان از حرکات چندگانه صورت مانند بالا رفتن ابرو، کشش لب‌ها، پایین آمدن چانه و باز و بسته شدن چشم برای شناسایی خواب‌آلودگی استفاده کرده‌اند. با این وجود، تحقیق در مورد سایر مقیاس رفتاری از قبیل خمیازه کشیدن و جهت‌یابی حرکات سر و چشم برای تعیین سطح خواب‌آلودگی رانندگان، در حال پیشرفت است (۴۴).

محدودیت اصلی استفاده از رویکرد دیداری مسئله نوردهی است. دوربین‌های معمولی به خوبی در شب کار نمی‌کنند (۴۷-۵۱)، برای غلبه بر این محدودیت، برخی از محققان بهره‌برداری از دیود ساطع‌کننده نور مادون قرمز (LED<sup>۲</sup>) استفاده نموده‌اند (۴۱). با این حال، هر چند این اقدامات در عملکرد دوربین‌های ویژه شب مفید بود، اما LEDها در طول روز کارایی کمتری داشتند (۵۲). علاوه بر این، اغلب روش‌های آزمایش‌شده بر روی داده‌های به دست آمده از رانندگان خواب‌آلود، تقلیدی بیشتر از داده‌های ویدیوهای واقعی از رانندگانی که خواب‌آلودگی طبیعی داشتند بود. اکثر تصاویر از CCD یا دوربین وب کم<sup>۳</sup> در طول روز (۵۳) و دوربین IR<sup>۴</sup> در طول شب (۵۴) با نرخ تصویربرداری در حدود ۳۰ fps به دست آمده بود. پس از گرفتن ویدئو، چندین تکنیک از قبیل تحلیل بخش‌های متصل<sup>۵</sup>، ترکیب آبشاری طبقه‌بندی‌کننده‌ها<sup>۶</sup> یا تبدیل هاف<sup>۷</sup>، گابور فیلتر<sup>۸</sup>، الگوریتم‌ها برای شناسایی<sup>۹</sup> صورت، چشم‌ها و دهان به کار گرفته شدند (۱۱، ۴۰، ۴۲، ۵۴). پس از در نظر گرفتن نواحی ویژه در تصاویر،

1. Percentage of Eyelid Closure
2. Light Emitting Diode
3. Web camera
4. IR camera
5. Connected Component Analysis
6. Cascade of Classifiers
7. Hough Transform
8. Gabor Filter
9. Haar Algorithm

10. Percentage of Eyelid Closure
11. Yawning
12. Head angle
13. Wavelet Decomposition
14. Gabor Wavelets
15. Discrete Wavelet Transform
16. Condensation Algorithm

شناسایی حالت خواب‌آلودگی بیشتر از کاربرد یک سیگنال به‌تنهایی است.

اندازه‌گیری سیگنال فیزیولوژیکی خام همیشه مستعد نویز و خطا (آرتیفکت) است، زیرا حرکات آن شامل رانندگی می‌شود. از این رو برای حذف خطا، تکنیک‌های پیش‌پرداز مختلفی از قبیل فیلتر پایین‌گذر<sup>۷</sup> و مشتق‌گیر دیجیتالی<sup>۸</sup> استفاده شده‌اند (جدول ۴). به‌طور کلی، تکنیک مؤثر فیلترینگ دیجیتالی<sup>۹</sup> آرتیفکت ناخواسته را به شیوه مطلوب حذف خواهد کرد؛ سپس میزان ویژگی‌های آماری استخراج‌شده از سیگنال پردازش‌شده با استفاده از تکنیک‌های مختلف استخراج مانند تبدیل ویولت گسسته<sup>۱۰</sup> و تبدیل فوریه سریع<sup>۱۱</sup> بررسی می‌شود (۷۰). متعاقباً ویژگی‌های منتخب با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی<sup>۱۲</sup>، ماشین‌های بردار پشتیبان<sup>۱۳</sup>، تحلیل جداسازی خطی<sup>۱۴</sup> و یا سایر روش‌های مشابه، طبقه‌بندی می‌شود (۱۵، ۳۰، ۶۷). برخی از مهم‌ترین مطالعات انجام‌شده بر روی خواب‌آلودگی راننده با استفاده از مقیاس‌های فیزیولوژیکی در جدول ۴ ارائه شده است.

### بحث

مقایسه شرایط رانندگی واقعی و شبیه‌سازی شده

توصیه نمی‌شود که راننده خواب‌آلود را مجبور به رانندگی در جاده کرد. در این زمینه آزمایشات زیادی در محیط‌های شبیه‌سازی شده انجام شده است و سپس نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایشات را با دقت بررسی کرده‌اند. دینگس<sup>۱۵</sup> و همکاران (۴۴)، فرصت‌های متفاوتی ارائه دادند که شناسایی خواب‌آلودگی در زمان واقعی را شامل می‌شد.

خودارزیابی موضوعی خواب‌آلودگی تنها می‌تواند از

جاگذاری الکترود Ag-CL قابل‌نمایش در زاویه خروجی هر چشم و الکتروود سوم در مرکز پیشانی، بررسی کرده‌اند (۳۰). در این روش الکتروودها به شکل خاصی جاگذاری می‌شوند، به‌طوری‌که پارامترهای حرکات سریع چشم<sup>۱</sup> و حرکات کند چشم<sup>۲</sup> هنگامی که آزمودنی هشیار و خواب‌آلود می‌شود را به ترتیب نشان می‌دهد و می‌تواند به‌آسانی این حرکات را در فرد آزمایش‌شونده ارائه دهد (۶۳).

هم‌چنین ضربان قلب<sup>۳</sup> نیز در مراحل مختلف خواب‌آلودگی از قبیل هوشیاری و خستگی به میزان قابل‌توجهی متفاوت است (۱۶ و ۶۹)؛ بنابراین، ضربان قلب که به‌آسانی از طریق سیگنال ECG تعیین می‌شود، می‌تواند برای تعیین خواب‌آلودگی نیز استفاده شود. محققان دیگر خواب‌آلودگی را با استفاده از تعیین ضربان قلب<sup>۴</sup> اندازه‌گیری کرده‌اند که در آن فرکانس بالا (HF) یا پایین (LF)، به ترتیب در محدوده  $0.04-0.15$  HZ و  $0.14-0.4$  HZ قرار می‌گیرد (۱۵، ۶۴). HRV مقیاسی از تپش به تپش (فواصل R-R) در ضربان قلب است. نسبت LF به HF در ECG هنگامی که راننده از حالت هوشیاری به حالت خواب می‌رود کاهش می‌یابد (۱۷، ۶۴).

EEG سیگنال فیزیولوژیکی است که بیشترین کاربرد را برای اندازه‌گیری خواب‌آلودگی دارد. سیگنال EEG فرکانس‌های متعددی دارد. در بین این سیگنال‌ها باند دلتا ( $0.5-4$  HZ) برابر با فعالیت خواب است، باند تتا ( $4-8$  HZ) مرتبط با خواب‌آلودگی است، باند آلفا ( $8-13$  HZ) نشان‌دهنده حالت استراحت و خلاقیت است و باند بتا ( $13-25$  HZ) برابر با حالت هوشیاری است (۱۳، ۶۵، ۶۶، ۶۸). کاهش در تغییرات نیروی فرکانس آن‌ها و افزایش در فرکانس تتا نشان‌دهنده حالت خواب‌آلودگی است. آکین<sup>۵</sup> و همکاران (۱۳) مشاهده کردند که میزان موفقیت استفاده از سیگنال‌های EEG و EMG برای

1. Rapid eye movements (REM)
2. Slow Eye Movements (SEM)
3. The heart rate (HR)
4. Heart Rate Variability (HRV)
5. Akin

6. Artifacts
7. Low pass filter
8. Digital differentiators
9. Effective digital filtering technique
10. Discrete Wavelet Transform (DWT)
11. Fast Fourier Transform (FFT)
12. Artificial Neural Networks (ANN)
13. Support Vector Machines (SVM)
14. Linear Discriminant Analysis (LDA)
15. Dinges

جدول ۴: مطالعات انجام شده بر روی خواب آلودگی راننده با استفاده از مقیاس‌های فیزیولوژیکی

منبع	سال انتشار	دقت دسته‌بندی جهت تشخیص (%)	دسته‌بندی	استخراج ویژگی	پیش پردازش	نوع سنسور
Akin (۱۳)	۲۰۰۸	۹۸-۹۹٪ (۳۰ نفر)	الگوریتم انتشار رو به عقب در شبکه‌های عصبی مصنوعی (بیدار، خواب‌آلود، خواب)	تبدیل موجک گسسته (DWT)	فیلتر Band Pass و بازرسی بصری	EEG, EMG
Hu (۳۰)	۲۰۰۹	۹۰٪ (۳۷ نفر)	ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM)	جستجوی همسایگی	فیلترینگ و آستانه گذاری	EoG, EMG
Kurt (۶۷)	۲۰۰۹	۹۷-۹۸٪ (۱۰ نفر)	شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)	تبدیل موجک گسسته (DWT)	فیلتر پایین گذر و بازرسی بصری	EEG, EoG, EMG
Chin (۶۶)	۲۰۱۰	۸۸٪/۷ (۱۰ نفر)	فاصله ماهالانوبیس	تبدیل فوریه سریع ۵۱۲ نقطه‌ای با همپوشانی ۴۴۸ نقطه‌ای	فیلتر پایین گذر ۳۲ هرتز (۳۲ Hz)	EEG
Liu (۶۸)	۲۰۱۰	۸۴٪ (۵۰ نفر)	مدل مارکوف پنهان	تجزیه و تحلیل بسته‌های موجک با Daubechies ۱۰ به عنوان موجک مادر	الگوریتم حداقل متوسط مربع (LMS) و بازرسی بصری	EEG
Patel (۶۴)	۲۰۱۱	۹۰٪ (۱۲ راننده)	شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)	تبدیل فوریه سریع (FFT)	فیلتر Band Pass	ECG
Patel (۷۱)	۲۰۱۱	۹۰٪ (۱۲ راننده)	الگوریتم هوشمند مصنوعی مبتنی بر شبکه عصبی	تغییرپذیری ضربان قلب (HRV)	فعالیت‌های پاراسمپاتیک و سمپاتیک با استفاده از نسبت LF/HF	ECG
Khushaba (۱۵)	۲۰۱۱	۹۵-۹۷٪ (۳۱ راننده)	آنالیز تشخیص خطی (LDA) کتابخانه طبقه‌بندی خطی بزرگ (LIBLINEAR*) الگوریتم K نزدیک‌ترین همسایگی (**KNN) ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM)	اطلاعات متقابل (MI) فازی مبتنی بر الگوریتم بسته موجک	بسته بهینه موجک، بسته موجک فازی	EEG, ECG, EoG
Fu (۶۵)	۲۰۱۲	۹۶٪/۷ (۶ راننده)	شبکه استنتاج فازی عصبی خودسازمان‌دهی	تبدیل فوریه سریع (FFT)	تجزیه و تحلیل اجزای مستقل	EEG
Muruganezhumali (۷۲)	۲۰۱۵	۸۰٪ (۱۳ نفر)	پاسخ هدایت پوست (SCR) و سطح هدایت پوست (SCL)	حساسیت بالا به دمای محیط	فیلتر Band Pass	GSR

ادامه جدول ۴: مطالعات انجام‌شده بر روی خواب‌آلودگی راننده با استفاده از مقیاس‌های فیزیولوژیکی

منبع	سال انتشار	دسته‌بندی جهت تشخیص (%)	دسته‌بندی	استخراج ویژگی	پیش‌پردازش	نوع سنسور
Mårtensson (۷۳)	۲۰۱۸	۹۴/۱ (۸۶ راننده)	ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM)	پیش‌بینی خواب‌آلودگی (SWP)	فیلتر پایین‌گذر	GSR
Gao (۷۴)	۲۰۱۹	۹۷/۳۷ (۲۸۰۰ نفر)	شبکه عصبی پیچشی مکانی-زمانی (ESTCNN***)	۸ شیوه رقابتی	تجزیه و تحلیل اجزای مستقل	EEG
Persson (۷۵)	۲۰۲۰	٪۸۵ (۸۶ راننده)	تغییرپذیری ضربان قلب (HRV)	شرایط واقعی رانندگی در جاده‌ها	آموزش چهار الگوریتم طبقه‌بندی کننده باینری (k) نزدیک‌ترین همسایگی، ماشین‌های بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و Ada Boost	ECG

\* A Library for Large Linear Classification

\*\*k-nearest neighbors algorithm

\*\*\* Power spectrum density

\*\*\*\* EEG-Based Spatio-Temporal Convolutional Neural Network

در محیط‌های شبیه‌سازی شده با استفاده از مقیاس‌های رفتاری بود و نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که این روش برای شناسایی خواب‌آلودگی، روش معتبر و قابل‌اعتمادی است.

از طرف دیگر در شرایط واقعی رانندگی، نتایج به‌دست‌آمده به میزان چشمگیری متفاوت هستند، زیرا خودروی در حال حرکت می‌تواند فرصت‌ها و موقعیت‌های متفاوتی مانند تفاوت نوردهی در پس‌زمینه، صدا و ارتعاش ارائه دهد، استفاده از عینک آفتابی و کلاه و آفتاب‌گیر خودرو نیز می‌تواند تفاوت‌هایی ایجاد کند. فیلیپ<sup>۲</sup> و همکاران (۷۷)، خواب‌آلودگی در محیط واقعی و شبیه‌سازی شده را با هم مقایسه کردند و نتیجه‌گیری کردند که می‌توان به‌صورت برابر در هر دو محیط تحقیق کرد، اما زمان واکنش و خودارزیابی خواب در محیط

2. Philip

آزمودنی‌های محیط‌های شبیه‌سازی شده به دست آید. در شرایط واقعی، دستیابی به این اطلاعات بدون حواس‌پرتی چشم یک راننده از وظیفه اصلی خود غیرممکن است. برخی از محققان آزمایش‌هایی را انجام دادند تا اعتبار محیط‌های شبیه‌سازی شده رانندگی را تأیید کنند. برای مثال، بلانا<sup>۱</sup> و همکاران (۷۶)، در آزمایشات خود مشاهده کردند که جایگزینی جانبی خودرو از مرکز جاده اصلی، در محیط‌های واقعی و شبیه‌سازی شده آمارهای متفاوتی در میزان سرعت به دست داده‌اند که بیشتر از ۷ کیلومتر در ساعت بوده است. این یافته‌ها دلالت دارند که رانندگان جاده اصلی در سرعت‌های بالا احساس ایمنی کمتری می‌کنند و در نتیجه فاصله عرضی خودشان را افزایش می‌دهند. با این وجود رانندگان محیط شبیه‌سازی شده این ریسک را دریافت نمی‌کنند. اکثر آزمایشات انجام‌شده

1. Blana



جدول ۵: روش‌های متداول ارزیابی خواب‌آلودگی و مزایا و معایب آن‌ها

نام روش	مزایا	معایب
مبتنی بر علائم فیزیولوژی (امواج مغزی)	با استفاده از امواج مغز، می‌توان به‌طور مؤثر و دقیق میزان خواب‌آلودگی را تشخیص دهد.	برای به دست آوردن این علائم باید الکترودهایی به بدن شخص وصل شود که این امر برای راننده ناخوشایند یا آزاردهنده است.
مبتنی بر عملکرد راننده	از ردیابی خطوط جاده، تغییرات فرمان خودرو، تعداد عبور از خطوط جاده و فاصله خودرو تا خودروهای جلویی در امر تشخیص استفاده می‌شود.	محدودیت‌هایی در برابر برخی تغییرات از جمله نوع خودرو، تجربه راننده، وضعیت جغرافیایی، کیفیت جاده و نور محیط را دارا می‌باشند و از طرف دیگر در فرآیند این روش‌ها احتیاج به زمان قابل توجهی برای تجزیه و تحلیل رفتار راننده است که باعث می‌شود نتوانند ریزخواب‌ها را تشخیص دهند.
مبتنی بر ظاهر و حالت راننده	در هنگام خواب‌آلودگی، ظاهر و چهره فرد دچار تغییرات محسوسی می‌شود که مهم‌ترین این تغییرات در چشم، سر، دهان و وضعیت نشستن است. با تصویربرداری از راننده و کمک گرفتن از روش‌های پردازش تصویر می‌توان نشانه‌های خواب‌آلودگی را استخراج کرد.	تغییرات ناگهانی سر و چشم و تغییرات شدت نور باعث می‌شود که درصد تشخیص خواب‌آلودگی پایین بیاید.
روش ترکیبی مدنظر ما مبتنی بر ظاهر و حالت و عملکرد راننده	در این روش از اشعه مادون‌قرمز برای تصویربرداری استفاده می‌شود که امکان تصویربرداری بدون مزاحمت برای راننده را در شب فراهم می‌کند.	این روش نیازمند دسته‌بندی‌های مختلفی از وضعیت چشم‌ها و صورت می‌باشد.

شبیه‌سازی شده بیشتر اثرگذار است که شرایط یکنواختی را ایجاد می‌کند. اینگستروم<sup>۱</sup> و همکارانش (۷۸)، مشاهده کردند که عوامل فیزیولوژیکی و فعالیت‌های چرخش در محیط واقعی بیشتر بوده است. این نتیجه می‌تواند به‌عنوان شاخص تلاش افزایش یافته تفسیر شود و به نظر می‌رسد در ترافیک واقعی ریسک بیشتری را ارائه می‌دهد (۷۸). از این رو، با وجود اینکه سیستم شناسایی خواب‌آلودگی در حال پیشرفت است، باید محیط شبیه‌سازی شده تا حد ممکن نزدیک به شرایط محیط واقعی شود تا بتوان آزمایشات دقیقی در آن انجام داد.

#### مقایسه تحلیلی بین روش‌های ارزیابی

همان‌طور که تاکنون بیان شد، در این مطالعه ارزیابی خواب‌آلودگی از طریق سه روش کلی بر اساس وسیله نقلیه، نظارت رفتاری و مقیاس‌های فیزیولوژیکی انجام گرفته است که در جدول ۵ به مقایسه روش‌های متداول ارزیابی خواب‌آلودگی و مزایا و معایب آن‌ها پرداخته شده است.

اکثر مطالعات منتشر شده درباره کاربرد رویکردهای رفتاری در تعیین سطح خواب‌آلودگی بر حرکات چشم و چشمک زدن سریع متمرکز شده‌اند (۴۳-۴۱)، اما برخی از این روش‌ها با نواقصی همراه است. تعیین سطح خواب‌آلودگی با استفاده از PERCLOS و پلک زدن‌های چشم به ترتیب میزان موفقیتی نزدیک به ۱۰۰ درصد (۴۱) و ۹۸ درصد (۴۳) داشتند. با این وجود لازم به یادآوری است که شناسایی خواب‌آلودگی به میزان بسیار بالا زمانی به دست می‌آید (۴۱) که آزمودنی‌ها (افراد آزمایش‌شونده) باید عینک بر روی چشم نداشته باشند، چراکه وجود عینک باعث می‌شود حرکات چشم نادیده گرفته شود. همچنین اکثر تحقیقات انجام شده در شرایط شبیه‌سازی، میزان موفقیت بالایی را به دست آورده‌اند. زمانی که آزمایشات در محیط‌های واقعی انجام شد، میزان شناسایی مثبت به میزان قابل توجهی کاهش یافت (۷۷). همچنین محدودیت دیگر مقیاس رفتاری در آزمایشات انجام شده توسط گولز<sup>۲</sup> و همکاران (۷۹) یافت شد. آن‌ها چندین محصول تجاری مشخص‌کننده

2. Golz

1. Engström

همان‌طور که گفته شد، مقیاس‌های دیداری و مقیاس‌های مربوط به خودرو تنها پس از خواب رفتن راننده مشخص می‌شوند که برای جلوگیری از وقوع تصادف بسیار دیر است. این موضوع به‌عنوان یکی از نقاط ضعف روش ارزیابی بر اساس مقیاس‌های فیزیولوژیکی مطرح می‌باشد. از طرف دیگر، سیگنال‌های فیزیولوژیکی در مراحل اولیه خواب‌آلودگی راننده شروع به تغییر یافتن می‌کنند. از این‌رو سیگنال‌های فیزیولوژیکی در شناسایی خواب‌آلودگی راننده مناسب‌تر بوده و با خطای کمتری همراه هستند و همچنین هشیار کردن راننده خواب‌آلود را در زمان مناسب ممکن می‌سازد که این امر از وقوع تصادف‌های جاده‌ای نیز جلوگیری می‌کند. محققان زیادی سیگنال‌های فیزیولوژیکی زیر را برای شناسایی خواب‌آلودگی مورد توجه قرار داده‌اند.

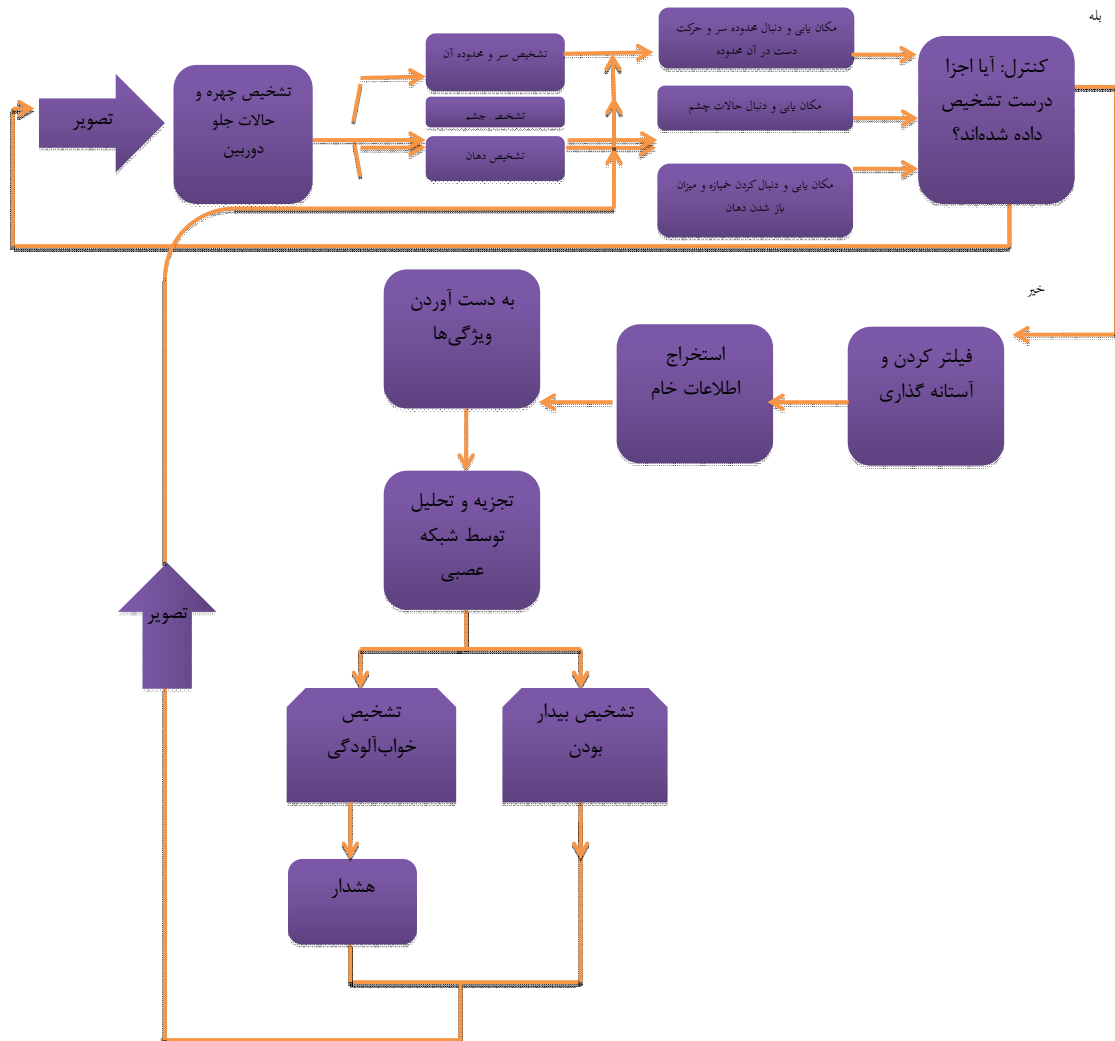
روش‌های ارزیابی بر اساس معیار خودرو شامل دوروش مقیاس مربوط به گشتاور فرمان وسیله نقلیه (SWM) و انحراف معیار موقعیت مسیر (SDLP) بودند. یکی از معایب روش SWM این است که شرکت‌های سازنده خودرو از قبیل نیسان و وانت SWM را پذیرفته‌اند، اما در شرایط بسیار محدود آن را به کار می‌گیرند. این مسئله به دلیل این است که آن‌ها تنها می‌توانند در محیط‌های ویژه و محیط‌هایی که بسیار وابسته به ویژگی‌های هندسی جاده است، اعتماد کنند، برای میزان کمتری از ویژگی‌های جنبشی خودرو به کار می‌روند (۸۷).

*ارائه مدل ترکیبی (هیبریدی) و طرح مدل کارآمد*  
 هر روشی که برای شناسایی خواب‌آلودگی استفاده شد، معایب و مزایای مخصوص به خود را دارد. مقیاس‌های مربوط به خودرو در اندازه‌گیری خواب‌آلودگی در زمانی که راننده کنترل وسیله نقلیه خود را از دست می‌دهد یا از مسیر خود منحرف می‌شود، مفید هستند. از طرف دیگر در برخی نمونه‌ها هیچ تأثیری بر پارامترهای مربوط به خودرو در زمان خواب‌آلودگی راننده وجود ندارد که ممکن است سیستم شناسایی خواب‌آلودگی را غیرقابل اعتماد کند. مقیاس‌های رفتاری روش مؤثری

سطح خواب‌آلودگی را ارزیابی کردند و مشاهده کردند که وضعیت راننده نمی‌تواند عملکرد رانندگی را اصلاح کند و وضعیت خودرو تنها بر اساس مقیاس‌های رفتاری است. صحت و اعتمادپذیری شناسایی خواب‌آلودگی راننده با استفاده از سیگنال‌های فیزیولوژیکی در مقایسه با سایر روش‌ها بسیار بالا است. با این حال، ماهیت تهاجمی اندازه‌گیری با سیگنال‌های فیزیولوژیکی موضوعی است که باید مطرح شود.

برای غلبه بر این موضوع (محدودیت) محققان از دستگاه‌های بی‌سیم برای اندازه‌گیری سیگنال‌های فیزیولوژیکی به شیوه‌ای که کمتر تهاجمی باشد استفاده کرده‌اند که با جاگیری الکترودها بر روی بدن و به دست آوردن سیگنال‌ها مانند تکنولوژی‌های بی‌سیم<sup>۱</sup> (۸۰) و بلوتوث<sup>۲</sup> (۸۱) انجام شده است. برخی از محققان با اندازه‌گیری سیگنال‌های فیزیولوژیکی به شیوه غیرتهاجمی<sup>۳</sup> به پیشرفت‌هایی دست یافته‌اند که از طریق جانمایی (قرار دادن) الکترودها بر روی فرمان خودرو (۸۲، ۸۳) یا بر روی صندلی راننده به دست آمده است (۸۲، ۸۴). سپس سیگنال‌های حاصل در دستگاه‌های تلفن به شیوه اندروید پردازش شده (۸۵، ۸۶) و به این صورت راننده را در بهترین زمان ممکن هشیار کرده‌اند. صحت سیستم غیرتهاجمی به دلیل جنبش‌های مصنوعات و خطاهایی که در الکترودهای غلط تنظیم شده وجود دارد، نسبتاً کم است. با این حال محققان استفاده از این دستگاه را به دلیل علاقه کاربران به آن مورد توجه قرار داده‌اند. در سال‌های اخیر آزمایشاتی برای تعیین اعتبار سیستم‌های غیرتهاجمی انجام شده است. معایب و مزایای انواع مقیاس‌ها در جدول ۵ به صورت خلاصه ارائه شده است. در این تحقیقات مقیاس‌های مختلف سنجش خواب‌آلودگی راننده بر اساس سطح خواب‌آلودگی در نمونه‌ها باز بینی شده است که وابسته به زمان وقوع در طول روز، فاصله کارکرد و زمان بیدار شدن از آخرین خواب فرد است.

1. Wireless technologies  
 2. Bluetooth  
 3. Non-intrusive way



شکل ۲: دیاگرام پیشنهادی برای ارائه مدل کارآمد

فیزیولوژیکی بررسی شده، ECG را می‌توان به شیوه غیرتهاجمی اندازه‌گیری کرد. سیگنال‌های EEG نیاز به چندین الکتروود دارند که بر روی بدن جا داده شوند و الکترودهایی که برای ارزیابی سیگنال‌های EOG استفاده شده‌اند بر ناحیه‌ای نزدیک چشم‌ها نصب می‌شوند. حسگرهای فیزیولوژیک غیرتهاجمی مزایایی در ترکیب سیگنال‌های فیزیولوژیک با مقیاس‌های رفتاری و مقیاس‌های مرتبط با خودرو به همراه دارد. سیستم ساده شناسایی خواب‌آلودگی با ترکیب سیگنال‌های

برای شناسایی خواب‌آلودگی هستند و برخی از تولیدات زمان حقیقی (به‌موقع) گسترش یافته‌اند. باین‌حال، هنگام ارزیابی سیستم‌های شناسایی موجود، لاورنس<sup>۱</sup> و همکارانش (۸۸)، مشاهده کردند که تفاوت در شرایط روشن‌سازی بر صحت و اطمینان مقیاس‌ها اثر می‌گذارد. مقیاس‌های فیزیولوژیکی نیز معتبر و دقیق هستند، زیرا وضعیت داخلی صحیحی را درباره راننده ارائه می‌دهند، اما از طرف دیگر ماهیت تهاجمی این مقیاس‌ها را باید از بین برد. در میان تمام پارامترهای

1. Lawrence

می‌کنند. ولی بایستی، در بین روش‌های موجود غیر از روش‌های فیزیولوژیکی که در کار راننده دخالت می‌کند و باعث اذیت و آزار او می‌گردد، بایستی از ترکیب سایر روش‌ها، برای تشخیص خواب‌آلودگی استفاده نمود.

### نتیجه‌گیری

با توجه به آمار بالای تلفات سوانح رانندگی در ایران و سایر کشورهای در حال توسعه، نقش مهم خواب‌آلودگی در بروز تصادفات شدید آشکار می‌باشد. پس از مقایسه تحلیلی بین روش‌های تشخیص خواب‌آلودگی موجود و نبود یک مدل جامع در این زمینه، ارائه یک مدل ترکیبی و کارآمد که در کار رانندگی مداخله نکند می‌تواند با پیشگیری از سوانح رانندگی ناشی از خواب‌آلودگی، جان تعداد بسیاری از رانندگان و سرنشینان وسایل نقلیه را نجات دهد. لذا با طراحی این سیستم آشکارساز خواب‌آلودگی که ترکیبی از اندازه‌گیری‌های رفتاری، عملکردی و سایر اندازه‌گیری‌ها است، می‌توان به‌دقت سطح هوشیاری راننده را مشخص کرد. تا با ارسال هشدار به راننده ای که خواب‌آلود می‌باشد از تعدادی زیادی از تصادفات جاده‌ای جلوگیری شود.

### تشکر و قدردانی

از همکاری صمیمانه مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامت دانشگاه علوم پزشکی اردبیل و معاونت پژوهشی (با تصویب کد اخلاق: IR.ARUMS.REC.1401.151) این دانشگاه که مساعدت لازم را در این زمینه مبذول داشته کمال تشکر و امتنان را داریم.

ECG، انحراف معیار موقعیت مسیر و تصاویر مربوط به‌صورت، گسترش یافته است.

تحقیقات کمی جهت تلاش برای شناسایی خواب‌آلودگی راننده از طریق ترکیب چند روش مختلف انجام شده است. (۸۹، ۹۲-۹۰). چنگ<sup>۱</sup> و همکارانش (۹۲)، مقیاس‌های رفتاری و مقیاس‌های مربوط به خودرو را با هم ترکیب کردند و سپس به این نتیجه رسیدند که اعتبار و صحت روش پیوندی به میزان قابل توجهی بیشتر از روش‌های مجزا همراه با حسگرهای تکی است (۷۸). گوشنگ<sup>۲</sup> و همکاران (۸۹)، نیز ترکیبی از مقیاس‌های موضوعی، رفتاری، فیزیولوژیکی (EEG، ECG) را برای شناسایی خواب‌آلودگی به کار گرفتند و دریافتند ادغام مقیاس‌ها منجر به موفقیت بیشتر نسبت به مقیاس‌های تکی می‌شود. مقیاس‌های میدانی خطا هنگام جداسازی ویژگی‌های فیزیولوژی ۱/۲۶۲۹ بود. این در حالی است که مقیاس‌های خطی میدانی در ترکیب روش‌های مختلف ۰/۵۲۶۹ بود. هرچند سیستم‌های پیوندی با استفاده از حسگرهای مختلف در محیط واقعی آزمایش نشدند اما برای بررسی قابلیت شناسایی خواب‌آلودگی با استفاده از ترکیب چندعاملی با سایر مقیاس‌ها جالب توجه خواهد بود.

دیاگرام مدل پیشنهادی در شکل ۲ ارائه شد. در این دیاگرام به ترتیب مراحل منجر به تشخیص خواب‌آلودگی و فعال‌سازی زنگ هشدار ارائه شد. با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول (۵) هرچند به نظر می‌رسد که مهم‌ترین راه تشخیص خواب‌آلودگی رانندگان، بکار بردن روش‌های ترکیبی البته در محیط شبیه‌سازی شده است که از چند روش جهت تشخیص خواب‌آلودگی استفاده

1. Cheng  
2. Guosheng

## REFERENCES

1. WHO. Global status report on road safety 2018: summary  
Genova: World Health Organization; 2018.
2. Moradi A, Nazari SS, Rahmani K. Sleepiness and the risk  
of road traffic accidents: A systematic review and meta-  
analysis of previous studies. *Traffic psychology and  
behaviour*. 2019;65: 620-629.
3. Drivers Beware Getting Enough Sleep Can Save Your Life  
This Memorial Day; National Sleep Foundation (NSF):  
Arlington, VA, USA, 2010.
4. Zare H, Abdollahi M, Poursadeghiyan M, Kasiri N.  
Epidemiological Study of Fatal Road Accidents in Eastern  
Iran in a Five-year Period. *Health in Emergencies and  
Disasters Quarterly*. 2022; 8(1) :47-54.
5. Saheban Maleki M, Khedri B, Ebrahimpour Roodposhti  
M, Askari Majdabadi H, Omolbanin Seyedrezaei S, et  
al. Epidemiology of Traumatic Spinal Cord Injuries in  
Iran; a Systematic Review and Meta-Analysis. *Arch Acad  
Emerg Med*. 2022;10(1):e74.
6. Karchani M, Mazloumi A, Nasl Saraji G, Akbarzadeh A,  
Niknezhad A, Ebrahimi MH, Raei M, Khandan M.  
Association of subjective and interpretive drowsiness  
with facial dynamic changes in simulator driving. *J Res  
Health Sci*. 2015; 15(4):250-5.
7. Sardari Zarchi M., Monajemi S.A.H.. A Survey On Driver  
Fatigue Detection Methods. *Traffic Management Studies*.  
2010 [Cited 2021October11];4(15):87-102. Available  
From: <https://www.sid.ir/En/Journal/Viewpaper.aspx?Id=200459>
8. Poursadeghiyan M, Mazloumi A, Saraji G N, Niknezhad A,  
Akbarzadeh A, Ebrahimi M H. Determination the Levels  
of Subjective and Observer Rating of Drowsiness and  
Their Associations with Facial Dynamic Changes. *Iran J  
Public Health*. 2017; 46(1):93-102.
9. Forsman PM, Vila BJ, Short RA, Mott CG, Van Dongen HP.  
Efficient driver drowsiness detection at moderate levels  
of drowsiness. *Accid Anal Prev*. 2012; 50:341-50.
10. Fan X, Yin BC, Sun YF. Yawning detection based on gabor  
wavelets and LDA. *Journal of BJUT*. 2009; 35(3): 409-13.
11. Zhang Z, Zhang J. A new real-time eye tracking based on  
nonlinear unscented Kalman filter for monitoring driver  
fatigue. *Journal of Control Theory and Applications*.  
2010;8(2):181-8.
12. Yin BC, Fan X, Sun YF. Multiscale dynamic features based  
driver fatigue detection. *Int Intern J Pattern Recognit  
Artif Intell* . *Artif Intell*. 2009;23(03):575-89.
13. Akin M, Kurt MB, Sezgin N, Bayram M. Estimating  
vigilance level by using EEG and EMG signals. *Neural  
Comput Appl*. 2008;17:227-36.
14. Kokonozi, A.K.; Michail, E.M.; Chouvarda, I.C.;  
Maglaveras, N.M. A Study of Heart Rate and Brain System  
Complexity and Their Interaction in Sleep-Deprived  
Subjects. In *Proceedings of the Conference Computers  
in Cardiology, Bologna, Italy, 14–17 September 2008*; pp.  
969–971.
15. Khushaba RN, Kodagoda S, Lal S, Dissanayake G. Driver  
drowsiness classification using fuzzy wavelet-packet-  
based feature-extraction algorithm. *IEEE Trans. Biomed  
Eng Adv*. 2010; 58(1):121-31.
16. Liang WC, Yuan J, Sun DC, Lin MH. Changes in  
physiological parameters induced by indoor simulated  
driving: Effect of lower body exercise at mid-term break.  
*Sensors*. 2009;9(9):6913-33.
17. Chowdhury A, Shankaran R, Kavakli M, Haque MM.  
Sensor applications and physiological features in  
drivers' drowsiness detection: A review. *IEEE Sens J*.  
2018;18(8):3055-67.
18. Khammar A, Moghimian M, Ebrahimi MH, Abbasi M,  
Baneshi MM, Yari AR, et al. Effects of bright light shock  
on sleepiness and adaptation among night workers  
of a hospital in Iran. *Ann Trop Med Public Health*.  
2017;10,3:595-9.
19. Sahayadhas A, Sundaraj K, Murugappan M. Detecting  
driver drowsiness based on sensors: a review. *Sensors  
(Basel)*. 2012;12(12):16937-53.
20. Williamson A, Chamberlain T. Review of on-road  
driver fatigue monitoring devices. NSW Injury Risk  
Management Research Centre, University of New South  
Wales. 2005.
21. Dopolani FN, Arefi MF, Akhlaghi E, Ghalichi Z, Salehi  
AS, Khajehnasiri F, et al. Investigation of occupational  
fatigue and safety climate among nurses using the  
structural equation model. *Work*. 2022; 72(3). 1129-1139
22. Drivingsimulator.ir (Internet). Tehran: driving Simulator  
of Khaje Nasir, Inc; (Updated 2020 may 16) available  
from: <http://drivingsimulator.ir/fa/akia-bi301.php>
23. Brodbeck V, Kuhn A, von Wegner F, Morzelewski A,  
Tagliazucchi E, Borisov S, Michel CM, Laufs H. EEG  
microstates of wakefulness and NREM sleep. *Neuroimage  
Clin*. 2012;62(3):2129-39..

24. Driving D, Crashes A. National Center on Sleep DisORDER Research and the National Highway Traffic Safety Administration: Howe. TX, USA, 1998.
25. Auberlet JM, Rosey F, Anceaux F, Aubin S, Briand P, Pacaux MP, Plainchault P. The impact of perceptual treatments on driver's behavior: From driving simulator studies to field tests—First results. *Accid Anal Prev.* 2012;45:91-8.
26. Johnson MJ, Chahal T, Stinchcombe A, Mullen N, Weaver B, Bédard M. Physiological responses to simulated and on-road driving. *Int J Psychophysiol.* 2011;81(3):203-8.
27. Mayhew DR, Simpson HM, Wood KM, Lonero L, Clinton KM, Johnson AG. On-road and simulated driving: Concurrent and discriminant validation. *J Saf Health Environ Res.* 2011;42(4):267-75.
28. Shahid A, Wilkinson K, Marcu S, Shapiro CM. Stanford sleepiness scale (SSS), in STOP, THAT and one hundred other sleep scales. Springer. 2012;369-70.
29. Khammar A, Moghimian M, Ebrahimi MH, Abbasi M, Baneshi MM, Yari AR, et al. Effects of bright light shock on sleepiness and adaptation among night workers of a hospital in Iran. *Ann Trop Med Public Health.* 2017;10,3:595-9.
30. Hu S, Zheng G. Driver drowsiness detection with eyelid related parameters by support vector machine. *Expert Syst Appl.* 2009;36(4):7651-8.
31. Liu CC, Hosking SG, Lenné MG. Predicting driver drowsiness using vehicle measures: Recent insights and future challenges. *J Saf Health Environ Res.* 2009;40(4):239-45.
32. Fairclough SH, Graham R. Impairment of driving performance caused by sleep deprivation or alcohol: A comparative study. *Int J Hum Factors Ergon.* 1999;41(1):118-28.
33. Otmani S, Pebayle T, Roge J, Muzet A. Effect of driving duration and partial sleep deprivation on subsequent alertness and performance of car drivers. *Physiol Behav.* 2005;84(5):715-24.
34. Thiffault P, Bergeron J. Monotony of road environment and driver fatigue: A simulator study. *Accid Anal Prev.* 2003;35(3):381-91.
35. Feng R, Zhang G, Cheng B. An on-Board System for Detecting Driver Drowsiness Based on Multi-Sensor Data Fusion Using Dempster-Shafer Theory. In Proceedings of the International Conference on Networking, Sensing and Control, Okayama, Japan, 2009 ; 897-902.
36. Ingre M, Åkerstedt T, Peters B, Anund A, Kecklund G. Subjective sleepiness, simulated driving performance and blink duration: Examining individual differences. *J Sleep Res.* 2006;15(1):47-53.
37. Simons R, Martens M, Ramaekers J, Krul A, Klöpping-Ketelaars I, Skopp G. Effects of dexamphetamine with and without alcohol on simulated driving. *Psychopharmacology (Berl).* 2012;222:391-9.
38. Das D, Zhou S, Lee JD. Differentiating alcohol-induced driving behavior using steering wheel signals. *IEEE trans Intell Transp Syst.* 2012;13(3):1355-68.
39. Mets MA, Kuipers E, de Senerpont Domis LM, Leenders M, Olivier B, Verster JC. Effects of alcohol on highway driving in the STISIM driving simulator. *Hum Psychopharm Rev.* 2011;26(6):434-9.
40. Vural E, Cetin M, Ercil A, Littlewort G, Bartlett M, Movellan J. Drowsy driver detection through facial movement analysis. *Hum Comput Interact Theor Approaches Des Method ; Springer: Berlin, Germany,* 2007; (4796): 6–18.
41. Bergasa LM, Nuevo J, Sotelo MA, Barea R, Lopez ME. Real-time system for monitoring driver vigilance. *IEEE trans Intell Transp Syst.* 2006;7(1):63-77.
42. D'Orazio T, Leo M, Guaragnella C, Distanti A. A visual approach for driver inattention detection. *Pattern Recog.* 2007;40(8):2341-55.
43. Liu D, Sun P, Xiao Y, Yin Y. Drowsiness Detection Based on Eyelid Movement. In Proceedings of the 2nd International Workshop on Education Technology and Computer Science, Wuhan, China, 12–13 March 2010; 49–52.
44. Dinges DF, Mallis MM, Maislin G, Powell JW. Final Report: Evaluation of Techniques for Ocular Measurement as an Index of Fatigue and as the Basis for Alertness Management; Report for NHTSA: Washington, DC, USA, 1998.
45. Abe T, Nonomura T, Komada Y, Asaoka S, Sasai T, Ueno A, Inoue Y. Detecting deteriorated vigilance using percentage of eyelid closure time during behavioral maintenance of wakefulness tests. *Int J Psychophysiol.* 2011;82(3):269-74.
46. McKinley RA, McIntire LK, Schmidt R, Repperger DW, Caldwell JA. Evaluation of eye metrics as a detector of fatigue. *Hum Factors.* 2011;53(4):403-14.

47. Seeingmachines Driver State Sensor. Available online: <http://www.seeingmachines.com/product/dss/> (accessed on 21 November 2012).
48. Lexus, L.X. Driver Monitoring System. Available online: <http://www.lexus.eu/range/ls/key-features/safety/safety-driver-monitoring-system.aspx> (accessed on 21 November 2012).
49. Smith P, Shah M, da Vitoria Lobo N. Determining driver visual attention with one camera. *IEEE trans Intell Transp Syst.* 2003;4(4):205-18.
50. Murphy-Chutorian E, Trivedi MM. Head pose estimation and augmented reality tracking: An integrated system and evaluation for monitoring driver awareness. *IEEE Trans Intell Transp Syst.* 2010;11(2):300-11.
51. Zhang X, Zheng N, Mu F, He Y. Head Pose Estimation Using Isophote Features for Driver Assistance Systems. In *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Xi'an, China, 3-5 June 2009*; pp. 568-572.
52. Hartley L, Horberry T, Mabbot N. *Review of Fatigue Detection and Prediction Technologies*; National Road Transport Commission: Melbourne, Australia, 2000.
53. Shen W, Sun H, Cheng E, Zhu Q, Li Q, Shen W. Effective driver fatigue monitoring through pupil detection and yawing analysis in low light level environments. *Int J Digit Technol Appl.* 2012; 6(17): 372-383.
54. Flores M, Armingol J, de la Escalera A. Driver drowsiness warning system using visual information for both diurnal and nocturnal illumination conditions. *EURASIP J Adv Signal Process.* 2010;2010(1):1-23.
55. Tadesse E, Sheng W, Liu M. Driver drowsiness detection through HMM based dynamic modeling. In *2014 IEEE International conference on robotics and automation (ICRA)*. 2014; May 31 (pp. 4003-4008). IEEE.
56. George A, Routray A. Real-time eye gaze direction classification using convolutional neural network. In *2016 Int Conf Signal Process Commun.* 2016; Jun 12 (pp. 1-5). IEEE.
57. Manu BN. Facial features monitoring for real time drowsiness detection. In *2016 12th International Conference on Innovations in Information Technology (IIT)*. 2016; (pp. 1-4). IEEE.
58. Reddy B, Kim YH, Yun S, Seo C, Jang J. Real-time driver drowsiness detection for embedded system using model compression of deep neural networks. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. 2017; (pp. 121-128).
59. Tipprasert W, Charoenpong T, Chianrabutra C, Sukjamsri C. A Method of Driver's Eyes Closure and Yawning Detection for Drowsiness Analysis by Infrared Camera. In *2019 First International Symposium on Instrumentation, Control, Artificial Intelligence, and Robotics (ICA-SYMP)*. 2019 Jan 16 (pp. 61-64). IEEE.
60. Lahoti U, Joshi R, Vyas N, Deshpande K, Jain S. Drowsiness detection system for online courses. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering.* 2020;9(2):1930-4.
61. Khaleghi S, Sadeghi Moghaddam A, Abdolshahi A, Shokri A, Khandan M, Poursadeqiyani M. Association between Blood Pressure and Oral Temperature Rate with Sleepiness Changes among Clinical Night Workers. *Iran J Public Health.* 2020;49(11):2232-2234.
62. Mazloumi E, Moghaddam AS, Abdolshahi A, Shokri A, Raei M, Poursadeqiyani M. The Relationship between Subjective Sleepiness and Changes in Breath and Beat Rates among the Clinical Night Workers. *Iran J Public Health.* 2021;50(10):2149-2151.
63. Lal SK, Craig A. A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. *Biol Psychol.* 2001;55(3):173-94.
64. Patel M, Lal SK, Kavanagh D, Rossiter P. Applying neural network analysis on heart rate variability data to assess driver fatigue. *Expert Systems with Application.* 2011;38(6):7235-42.
65. Lin FC, Ko LW, Chuang CH, Su TP, Lin CT. Generalized EEG-based drowsiness prediction system by using a self-organizing neural fuzzy system. *IEEE Trans Circ Syst.* 2012;59(9):2044-55.
66. Lin CT, Chang CJ, Lin BS, Hung SH, Chao CF, Wang IJ. A real-time wireless brain-computer interface system for drowsiness detection. *IEEE Trans Biomed Circ Syst.* 2010;4(4):214-22.
67. Kurt MB, Sezgin N, Akin M, Kirbas G, Bayram M. The ANN-based computing of drowsy level. *Expert Systems with Applications.* 2009;36(2):2534-42.
68. Liu J, Zhang C, Zheng C. EEG-based estimation of mental fatigue by using KPCA-HMM and complexity parameters. *Biomed Signal Process Control.* 2010;5(2):124-30.
69. Miyaji M, Kawanaka H, Oguri K. Driver's Cognitive Distraction Detection Using Physiological Features by

- the Adaboost. In Proceedings of the 12th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, St. Louis, MO, USA, 3–7 October 2009; pp. 1–6.
70. Michail E, Kokonozi A, Chouvarda I, Maglaveras N. EEG and HRV Markers of Sleepiness and Loss of Control during Car Driving. In Proceedings of the 30th Annual International Conference of the IEEE Open J Med Biol Eng. Vancouver, BC, Canada, 20–25 August 2008; pp. 2566–2569.
71. Patel M, Lal SK, Kavanagh D, Rossiter P. Applying neural network analysis on heart rate variability data to assess driver fatigue. *Expert Systems with Applications*. 2011;38(6):7235-42.
72. Ezhumali M, Ramaniam V, Designing for advance identification of inevitable drowsiness using galvanic skin response. *Int J Manage Appl*. 2015;3(4): 84–87.
73. Mårtensson H, Keelan O, Ahlström C. Driver sleepiness classification based on physiological data and driving performance from real road driving. *IEEE trans Intell Transp Syst*. 2018;20(2):421-30.
74. Gao Z, Wang X, Yang Y, Mu C, Cai Q, Dang W, Zuo S. EEG-based spatio-temporal convolutional neural network for driver fatigue evaluation. *IEEE Trans Neural Netw Learn Syst*. 2019;30(9):2755-63.
75. Persson A, Jonasson H, Fredriksson I, Wiklund U, Ahlström C. Heart rate variability for classification of alert versus sleep deprived drivers in real road driving conditions. *IEEE trans Intell Transp Syst*. 2020;22(6):3316-25.
76. Blana E, Golias J. Differences between vehicle lateral displacement on the road and in a fixed-base simulator. *Hum Factors*. 2002;44(2):303-13.
77. Philip P, Sagaspe P, Moore N, Taillard J, Charles A, Guilleminault C, Bioulac B. Fatigue, sleep restriction and driving performance. *Accid Anal Prevent*. 2005;37(3):473-8.
78. Engström J, Johansson E, Östlund J. Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving. *Transport Res Traffic Psychol Behav*. 2005;8(2):97-120.
79. Golz M, Sommer D, Trutschel U, Sirois B, Edwards D. Evaluation of fatigue monitoring technologies. *Somnologie (Berl)*. 2010;14(3):187-99.
80. Kobayashi H. EMG/ECG acquisition system with online adjustable parameters using zigbee wireless technology. *IEEE Trans Electron Inform Syst*. 2013;96(5):1-0.
81. Klingeberg T, Schilling M. Mobile wearable device for long term monitoring of vital signs. *Comput Methods Programs Biomed*. 2012;106(2):89-96.
82. Yu, X. Real-Time Nonintrusive Detection of Driver Drowsiness; Technical Report for University of Minnesota: Minneapolis, MN, USA, 2009.
83. Gomez-Clapers J, Casanella R. A fast and easy-to-use ECG acquisition and heart rate monitoring system using a wireless steering wheel. *IEEE Sens J*. 2011;12(3):610-6.
84. Baek HJ, Chung GS, Kim KK, Park KS. A Smart health monitoring chair for nonintrusive measurement of biological signals. *IEEE Trans Inform Technol Biomed*. 2011;16(1):150-8.
85. Lee BG, Chung WY. Multi-classifier for highly reliable driver drowsiness detection in Android platform. *Biomed Eng (Singapore)*. 2012;24(02):147-54.
86. Hii PC, Chung WY. A comprehensive ubiquitous healthcare solution on an Android™ mobile device. *Sensors*. 2011;11(7):6799-815.
87. Vural, E. Video Based Detection of Driver Fatigue. Ph.D. Thesis, Sabanci University, Istanbul, Turkey, 2009.
88. Barr L, Popkin S, Howarth H. An Evaluation of Emerging Driver Fatigue Detection Measures and Technologies; Volpe National Transportation Systems Center Cambridge: Cambridge, UK, 2009.
89. Yang G, Lin Y, Bhattacharya P. A driver fatigue recognition model based on information fusion and dynamic Bayesian network. *Inform Sci*. 2010;180(10):1942-54.
90. Lee BG, Jung SJ, Chung WY. Real-time physiological and vision monitoring of vehicle driver for non-intrusive drowsiness detection. *Commun. IET*. 2011;5(17):2461-9.
91. De Rosario H, Solaz JS, Rodríguez N, Bergasa LM. Controlled inducement and measurement of drowsiness in a driving simulator. *IET Intell Trans Syst*. 2010;4(4):280-8.
92. Cheng B, Zhang W, Lin Y, Feng R, Zhang X. Driver drowsiness detection based on multisource information. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*. 2012;22(5):450-67.