# سیستم بلادرنگ و هوشمند اعلام هشدار خستگی رانندگان بر مبنای تصاویر ویدیویی

خسرو رضائی[۱]، غفار محمدی[۲]، ایمان میرزاجانی، جواد حدادنیا[۴]

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۴/۱۳ تاریخ ویرایش: ۹۱/۰۷/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۷/۲۰


## چکیده

**زمینه و هدف:** هوشمندسازی سیستم‌های بازدارنده‌ی سوانح رانندگی می‌تواند در به حداقل رساندن مرگ و میر ناشی از تصادفات مؤثر باشد. یکی از عوامل منجر به مرگ که سهم عمده‌ای را در ایجاد تصادفات به خود اختصاص داده، خطاهای انسانی است. خستگی در حین رانندگی از مواردی است که سبب ایجاد خطا و کاهش دقت در کنترل وسیله نقلیه می‌شود.

**روش بررسی:** با تکیه بر تکنیک‌های پردازش تصاویر ویدیویی، علائم خستگی و خواب‌آلودگی چهره فرد در زمان رانندگی آشکار شده است. سیستم در گام نخست با تصویربرداری از صورت شخص توسط یک دوربین، دنباله‌های ویدویی با نرخ ۱۵ فریم بر ثانیه دریافت نموده و با تبدیل فریم‌ها از فضای RGB به فضاهای YCbCr و HSV، ناحیه چهره از سایر بخش‌ها جداسازی می‌شود. در گام بعدی، در یک فاصله زمانی با تکیه بر آستانه‌گذاری و معادلات تقارن چهره انسان، باز یا بسته بودن چشم‌ها تعیین شده و در نهایت با استفاده از روش کلاسترینگ K-means، تکرر خمیازه شناسایی خواهد شد. در مرحله ارزیابی، با پیاده‌سازی الگوریتم بر دنباله‌های ویدیویی ضبط شده تحت شرایط واقعی در فضای شهری و برون شهری و مقایسه با روش‌های چون Visual Information وMonitoring Driver Vigilance، عملکرد مناسب‌تری حاصل آمد.

**یافته‌ها:** با آزمایش سیستم برای مجموعه‌ای از ۵۹۴۹ فریم ویدیویی گوناگون، دقت میانگین ۹۳/۰۶٪ و نرخ آشکارسازی (DR) برابر با ۹۰/۷۸٪ نتیجه شد.

**نتیجه‌گیری:** دقت بالا در جداسازی، نرخ ناچیز خطا در اعلام هشدار و سرعت مناسب پردازش داده‌های ورودی، سیستم را از سایر روش‌های مشابه متمایز می‌سازد. بهره‌گیری از این سیستم، در به حداقل رساندن سطح تصادفات ناشی از خستگی رانندگان مؤثرخواهد بود.


**کلید واژه‌ها:** خستگی راننده، HSV، پردازش تصاویر ویدیویی، جداسازی ناحیه چهره وکلاسه‌گذار K-means.

## مقدمه

سالیانه در سراسر جهان، افراد زیادی بر اثر حوادث ناشی از تصادفات رانندگی جان خود را از دست می‌دهند. اخیراً تحقیق در زمینه ارتقاء ایمنی خودروها برای نجات سرنشینان و کاستن میزان تصادفات اهمیت فراوانی یافته است. با وجود پیشرفت‌های گسترده صنعت خودروسازی در اغلب کشورهای جهان، میزان مرگ و میر ناشی از تصادفات رانندگی نگران کننده است. در شرایطی که سالانه یک میلیون و ۲۰۰ هزار نفر در سراسر دنیا بر اثر تصادفات رانندگی کشته می‌شوند و ۸۰ درصد این کشته‌ها مربوط به کشورهای در حال توسعه است، آمار کشته‌های تصادفات در ایران سهم بالایی را به خود اختصاص داده و خسارت‌های جانی و مالی فراوانی را به جامعه و کشور تحمیل می‌کند [۱]. این در حالی است که کشور ایران در بحث تلفات جاده‌ای در جهان رتبه‌ی نخست را دارد و در سال، حدود ۳۰ هزار نفر از هم‌وطنان در این حوادث جان خود را از دست می‌دهند [۲]. وقوع تصادفات برون شهری و درون شهری به عوامل متفاوتی وابسته است و در این میان نقش عامل انسانی بیش از سایر عوامل در بروز حوادث جاده‌ای خودنمایی می‌کند. براساس نتایج، مسئول رخداد ۹۰ تا ۹۵ درصد تصادف‌های رانندگی در کشور ایران، خطای انسانی شناخته شده است. به‌طورکلی خستگی راننده عامل اصلی ۲۵ درصد تصادفات و به‌طورخاص


۱- (نویسنده مسئول) دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی، گروه مهندسی پزشکی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
Rezaeekhosro@ymail.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی الکترونیک، گروه مهندسی پزشکی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی الکترونیک، گروه مهندسی پزشکی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه حکیم سبزواری. سبزوار، ایران.

۴- دانشیار، گروه برق الکترونیک و مهندسی پزشکی و عضو هئیت علمی دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.


[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]

۶۰ درصد تصادفات جاده‌ای منجر به مرگ و یا آسیب‌های جدی می‌باشد [۳]. در طی یک پژوهش از سوی مؤسسه تحقیقات ملی حمل و نقل (NTSRB) با انتخاب ۱۰۷ نمونه تصادفی از وسائ ط نقلیه، خستگی، عامل ۵۸٪ از کل تصادفات بوده است. یکی از عوامل اصلی در خستگی، کم‌خوابی یا بی‌خوابی است. خواب‌آلودگی رانندگان یکی از عوامل تأثیرگذار در وقوع تصادفات شدید جاده‌ای است که همه ساله قربانیان زیادی می‌گیرد. آمارهای تصادفات مؤسسه حمل و نقل اوکلاهامای آمریکا نشان می‌دهد که ۲۲٪ از کل تصادفات به دلیل خواب‌آلودگی و خستگی رانندگان است. در سال‌های اخیر به‌کارگیری سیستم‌های هوشمند در خودروهای مختلف مرسوم شده است و این سیستم‌ها اغلب جهت مانیتورینگ و مخابره وضعیت خودرو و راننده از شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN) استفاده می‌کنند. اتومبیل‌های هوشمند در طی چند سال به سرعت کیفیت رانندگی را ارتقاء بخشیده‌اند که در آن‌ها از تکنیک‌های کامپیوتری و نرم‌افزاری برای هدایت خودکار دور موتور، فرمان، دنده، ترمز و غیره در اتومبیل استفاده می‌شود. شبکه‌های AD hoc سیستم‌هایی بودند که در ابتدا فضای هدایت خودکار را در اتومبیل‌ها توسعه دادند [۴و۵]. شاید یکی از ضعف‌های برجسته‌ای که در این سیستم‌ها به‌نظر می‌آید، عدم بلادرنگ بودن شبکه‌های سنسوری در پاسخگویی به تغییرات محیطی است؛ چراکه هنگام رانندگی، زمان، فاکتوری بسیار با اهمیت به حساب می‌آید تا راننده به موقع بتواند تصمیم‌گیری کند.

تا به امروز سیستم‌های گوناگونی برای جلوگیری از خواب‌آلودگی رانندگان در هنگام رانندگی به‌ویژه در طول شب پیشنهاد شده است که اغلب این سیستم‌ها از جانب شرکت‌های خودروسازی معتبر ارائه می‌شوند و در خود با معایب و مزایایی روبه‌رو هستند. تکنیک‌هایی که تا به امروز جهت اعلام هشدار خستگی رانندگان پیشنهاد شده‌اند، در سه مقوله‌ی کلی جای می‌گیرند:

ساخت مدل‌های اعلام خستگی و هشدار خواب‌آلودگی بر مبنای محاسبات ریاضی و آماری.

سیستم‌های پایش و مانیتورینگ خودرو و سرنشینان با استفاده از شبکه‌های حسگری.

ارائه سیستم‌های هوشمند تشخیص وضعیت خستگی رانندگان.

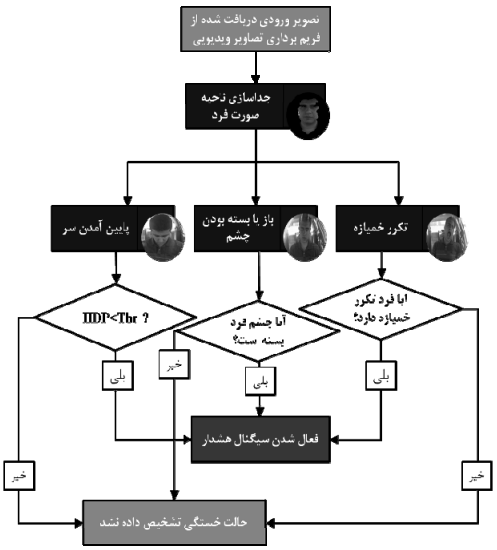
در سال ۲۰۰۹، Liu و Hosking، سیستمی جهت تشخیص وضعیت هوشیاری رانندگان طراحی نمودند [۶]. در کار آن‌ها پیش‌بینی خستگی به‌صورت مدلی از برخی حالات چهره انجام می‌گرفت. در زمینه‌ی ارزیابی حالت‌های خواب و بیداری رانندگان، Barbato و همکارانش با استفاده از تحلیل امواج EEG، سیگنال‌هایی را استخراج نمودند که مرز خواب و بیداری به حساب می‌آمد و با استفاده از آن مرز خستگی شخص تعیین می‌شد [۷]. در سال ۲۰۰۲، Connor و همکارانش به مطالعه خطرات ناشی از خواب‌آلودگی رانندگان وسائط نقلیه سنگین پرداختند و راه‌کارهای مبتنی بر استفاده از سیستم‌های هوشمند پیشنهاد دادند [۸]. در این میان Dinges و Maislin سیستم هدایت و کنترل هوشمند خودروها را به هنگام خستگی راننده متناسب با تکنولوژی‌های روز معرفی نمودند [۹]. فرآیند مانیتورینگ و پایش بلادرنگ را Ji و همکارانش به‌صورت غیرمخرب جهت پیش‌بینی وضعیت خستگی رانندگان انجام دادند [۱۰]. در سال ۲۰۰۶ Bergasa [۱۱] سیستم بلادرنگ پایش و مانیتورینگ هوشیاری رانندگان را ایجاد نمود. محاسبه‌ی نرخ پلک زدن راننده، روش جدیدی برای مانیتورینگ و کنترل خواب و خستگی راننده توسط Johns پیشنهاد داده شد [۱۲]. وی در ۴ سال بعد (۲۰۰۷) با تابش مادون‌قرمز و تحلیل اشعه انعکاس یافته از چشم، میزان خواب‌آلودگی راننده را در هر لحظه آزمایش نمود [۱۳]. پیش‌بینی و مانیتورینگ غیرمخرب توسط دو دوربین، الگوریتمی بود که از جانب Qiang و همکارانش در سال ۲۰۱۲ پیشنهاد شد [۱۴].

## روش بررسی

بخش نرم‌افزاری سیستم با استفاده از یک دوربین با پردازنده ورودی ویدیویی Philips، به‌صورت omni-



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]



شکل ۱- دیاگرام نشان‌دهنده عملکرد سیستم پیشنهادی

directional با رزولوشن ۱۶۰×۱۲۰ تصاویر را دریافت می‌کند و تمام کلیپ‌ها با fps ۱۵ (سرعت فریم برداری ۱۵ در هر ثانیه) ساخته شدند. در کلیپ‌ها وضعیت‌هایی نظیر باز یا بسته بودن چشم، وضعیت سر راننده و خمیازه‌های مکرر از صورت راننده دریافت شد و اصول نرم‌افزاری تشخیص این حالات با به‌کارگیری تکنیک‌های پردازش تصویر و پردازش فریم‌های ویدیویی صورت می‌گیرد. بخش سخت‌افزاری آن شامل برد الکترونیکی است که به محض دریافت داده‌های تصویری مبنی بر عدم هوشیاری راننده، نظیر بسته ماندن چشم در مدت زمان ۳ ثانیه، عدم تشخیص صورت راننده در اثر پایین آمدن سر و تکرار خمیازه آلارم می‌دهد. در شکل (۱) دیاگرام کلی سیستم پیشنهادی به نمایش در آمده است.

**جداسازی ناحیه چهره:** اساس کار آستانه‌گذاری، انتخاب یک آستانه مناسب از هیستوگرام تصویر است. به‌عبارتی مقدار آستانه یا مرز به‌عنوان شدت روشنایی، مبنای تقسیم‌بندی در نظر گرفته می‌شود و شدت روشنایی‌های بزرگ‌تر از مقدار آستانه، برابر یک و شدت روشنایی‌های کوچک‌تر از آن برابر صفر خواهد بود. آستانه گذاری بر تصویر f(x,y)، به معنای تبدیل آن به یک تصویر باینری مانند g مطابق معادله (۱) است:

(۱)

$$g(x,y)=\begin{cases}1 & f(x,y)\geq T\\ 0 & f(x,y)<T\end{cases}$$

که در آن T آستانه انتخاب شده در جداسازی پس زمینه و پیش زمینه تصویر است.

هدف از تشخیص ناحیه‌ی صورت، به حداقل رساندن میزان خطا در شناسایی حالات چهره است. اهمیت این بخش در آن است که خواسته شود وضعیت‌های نظیر چشم‌ها، دهان و وضعیت سر سنجیده شود. بخش صورت در تصاویر از انعطاف بالایی برخوردار نیست و لذا در اندازه، شکل، رنگ و بافت در افراد مختلف تغییرات دارد [۱۶]. گاهی مشکلات دیگری همانند وجود ریش در صورت، استفاده از عینک و انعکاسات نور باعث پیچیدگی در جداسازی می‌شوند. با این حال عامل



شکل ۲- (a) و (b) تصاویر دریافت شده از رشته ویدیویی، (c) و (d) ناحیه جداشده صورت از سایر بخش‌های تصویر با استفاده از تغییر فضا از محیط RGB به $YC_bC_r$



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]

اصلی در جداسازی ناحیه چهره یک فرد در تصاویر گوناگون به وضعیت‌های تابشی نور باز می‌گردد. اگر بتوان در شرایط مختلف محیطی و تحت شدت نورهای متفاوت، ناحیه صورت را از سایر بخش‌های تصویر جداسازی نمود، تشخیص وضعیت چهره راننده با خطای کمتری میسر خواهد شد. از روش‌هایی که علی‌رغم تغییر شدت روشنایی، بافت تصویر در آن ثابت می‌ماند، تبدیل‌های فضاهای رنگی است. فضای پیش فرض تحلیلی در تصاویر گوناگون، فضای RGB است که خود از سه مؤلفه رنگ قرمز، سبز و آبی تشکیل شده است. یکی دیگر از فضاهای تبدیلی که یک مرز تشخیصی قدرتمند را در شناسایی رنگ پوست انسان ارائه می‌دهد، فضای Cb-Cr است. تصویر ورودی مطابق با معادلات (۲) و (۳) از فضای RGB به Cb-Cr تبدیل می‌شود.

(۲)

$$Cb = (0.148\times R) - (0.291\times G) + (0.439\times B) + 128$$

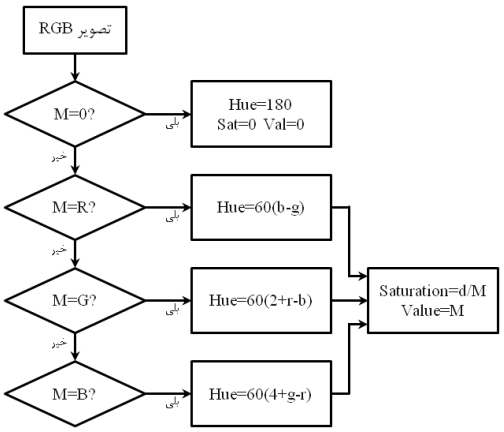
(۳)

$$Cr = (0.439\times R) - (0.368\times G) + (0.071\times B) + 128$$

که در آن R، G و B به ترتیب مؤلفه‌های رنگ قرمز، سبز و آبی می‌باشند. مراحل تبدیل از فضای RGB به فضای $YC_bC_r$ در تصاویر شکل (۲) به نمایش در آمده است و طی این تبدیلات ناحیه چهره‌ی راننده از سایر بخش‌ها جداسازی شده است.

**تشخیص پایین آمدن سر:** یکی از نشانه‌های خستگی در رانندگان که در ناحیه سر آشکار می‌شود، پایین آمدن سر است. با بروز خستگی ماهیچه‌های ناحیه گردن راننده از کنترل سیستم شبکه‌ی عصبی بدن به‌صورت موضعی خارج می‌شود.

فضای دومی که در جداسازی ناحیه‌ی پوست کارآمد و مناسب است، تبدیل فضای HSV است. با استفاده از ویژگی‌های تغییر فضای رنگ در محیط HSV می‌توان پایین آمدن سر شخص را با محاسبه‌ی مساحت به‌دست آمده نسبت به مساحت فضای اصلی تصویر بدست آورد.




شکل۳- دیاگرام نهایی تبدیل از فضای RGB به فضای HSV برای فریم‌های ورودی

با استفاده از ویژگی‌های تغییر فضای رنگ در محیط HSV می‌توان پیچیدگی مابین سطح تصویر و شدت نورهای ناخواسته را که سبب خطا می‌شوند تا حد زیادی کاست. بخش H پس از تبدیل تصویر ورودی RGB به فضای HSV مطابق با معادله (۴) به‌دست می‌آید. در این معادله، مقادیر r، g و b محاسبه می‌شوند و در نهایت تصویر RGB به‌صورت دیاگرام شکل (۳) به فضای HSV تبدیل می‌شود.

(۴)

$r=(M-R)/d$ و $g=(M-G)/d$ و $b=(M-B)/d$ که در آن $M=\max(R,G,B)$، $m=\min(R,G,B)$ و $d=M-m$ می‌باشد.

هر سه مؤلفه H، S و V در فاصله‌ی [۰-۱] تغییر می‌کنند. پس از تبدیل تصویر در این فضا با استفاده از معادله (۵)، پایین آمدن سر فرد تشخیص داده می‌شود.

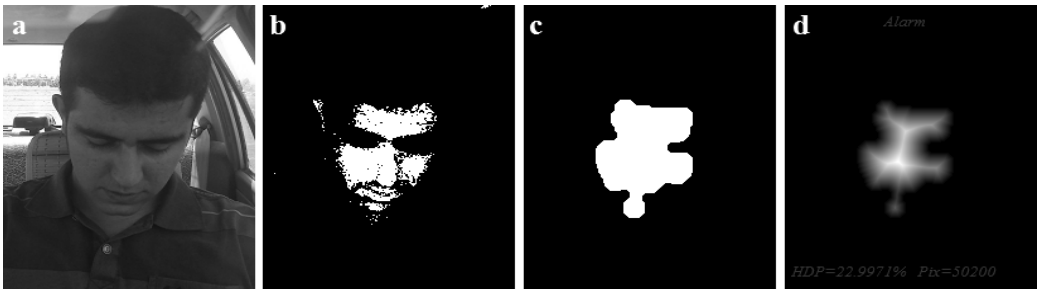
(۵)

$$HDP = \frac{NPix_{Face}}{NPix_{Face} + NPix_{Black\ Area}}$$

که در آن $NPix_{Face}$ تعداد پیکسل‌های ناحیه صورت است و $NPix_{Black\ Area}$ تعداد پیکسل‌های ناحیه‌ی سیاه



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]




شکل ۴- (a) تصویر ورودی از یک فریم که در آن سر راننده به سمت پایین متمایل شده است، (b) آستانه‌گذاری در جهت جداسازی بخش چهره، (c) تبدیل به فضای HSV و (d) جداسازی بخش H تصویر

تصویر که شدت روشنایی برابر با صفر دارند. مطابق معادله (۶) به محض آنکه HDP از میزان آستانه عبور نماید، *Alarm* متناسب با نوع خطر (پایین آمدن سر) به صدا در خواهد آمد.

(۶)

$$Alarm = \begin{cases} 1 & HDP \le Thr \\ 0 & HDP \ge Thr \end{cases}$$

*Thr* آستانه عبور سر از محدوده‌ی خطر است و در مجموعه شکل (۴) با پایین‌آمدن سر آلارم به صدا در آمده است.

**تشخیص وضعیت چشم:** از حالت‌های با اهمیت دیگر در شناسایی خستگی راننده، بررسی وضعیت چشم‌ها در حالت باز یا بسته است. در زمان خستگی ماهیچه‌های پلک به‌صورت ناخودآگاه درصدد تسریع در به خواب رفتن خواهند بود. با استفاده از این خاصیت، باز یا بسته‌بودن چشم فرد با تکیه بر اختلاف شدت روشنایی مردمک چشم در تصویر و متقارن‌بودن آن تعیین می‌شود. یافتن موقعیت چشم در فریم‌هایی که از چهره‌ی راننده دریافت می‌شود، کار دشواری است. با جداسازی ناحیه‌ی چهره در فریم دریافت شده از صورت راننده، با تکیه بر خواص هندسی و تقارن در چهره می‌توان موقعیت چشم را نمایان نمود. در لبه‌یابی به تعیین موقعیت نواحی یا پیکسل‌هایی پرداخته می‌شود که شدت روشنایی آن‌ها به طور آنی تغییر چشم‌گیری داشته است. یکی از اپراتورهای کارآمد برای آشکارسازی لبه، عملگر سوبل است که دو جفت ماتریس ۳×۳ می‌باشد و فرآیند کانولوشن را بر تصاویر اعمال می‌کند. این دو نسبت به هم $90^o$ اختلاف فاز دارند و در شکل (۵) نمایش داده شده‌اند [۱۷].

این دو ماسک برای داشتن بیشینه لبه در دو سطح افقی و عمودی کارا هستند و می‌توانند اندازه‌گیری‌های مجزایی را از مؤلفه‌های گرادیانی در هر جهت ارائه دهند. (که آن‌ها را به ترتیب $G_x$ و $G_y$ می‌نامند). دامنه گرادیان مطابق $|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$ محاسبه می‌شود که دامنه‌ی تقریبی در آن به فرم $|G| = |G_x| + |G_y|$، همچنین زاویه‌ی جهت‌گیری در لبه نیز به فرم معادله $\theta = ArcTan(G_y / G_x)$ به‌دست می‌آید. در ابتدا با استفاده از انتخاب آستانه مناسب موقعیت مکان چشم در چهره‌ی راننده نمایان می‌شود. این دو ناحیه با استفاده از آشکارسازی لبه جدا می‌شوند و مطابق با معادلات (۷) و (۸) و خاصیت تقارن چشم، مرکز ثقل چشم شناسایی شده و وجود مردمک چشم تعیین می‌گردد [۱۸].

| | | |
|---|---|---|
| ۱ | ۰ | -۱ |
| ۲ | ۰ | -۲ |
| ۱ | ۰ | -۱ |

| | | |
|---|---|---|
| ۱ | ۲ | ۱ |
| ۰ | ۰ | ۰ |
| -۱ | -۲ | -۱ |

شکل ۵ماسک‌های به‌کار رفته برای عملگر سوبل

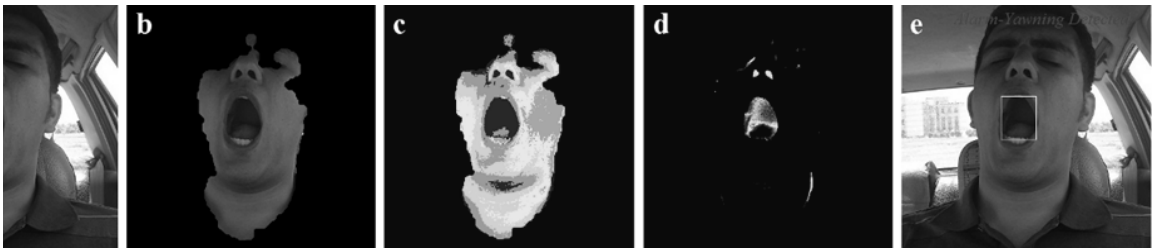
$$(u_{kLE}, v_{kLE}) = \begin{cases} (x_0 + w/6, y_0 + h/4) & k = 0 \\ (x_0 + w/2, y_0 + h/2) & k = 1 \end{cases} \quad (۷)$$



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]




شکل ۶- (a) اعمال آستانه مناسب بر تصویر فریم دریافتی از دوربین، (b) لبه‌یابی و در نظر گرفتن محدوده برای پاک کردن عناصر اضافی، (c) یافتن مراکز ثقل توده‌های پیکسلی و استفاده از معادلات تقارن صورت برای یافتن ناحیه‌ی چشم، (d) رسم هوشمند کادرهای نمایش دهنده‌ی چشم و (e) یافتن مراکز ثقل کادر و متناسب با مختصات مکان مردمک در تصویر لبه.




شکل ۷- (a) تصویر ورودی، (b) جداسازی ناحیه صورت فرد، (c) پیاده‌سازی الگوریتم کلاسه‌گذار K-means در نرم‌افزار، (d) آستانه‌گذاری، حذف عناصر اضافی و NOT کردن تصویر برای یافتن دهان و خمیازه و (e) ترکیب مکان خمیازه با تصویر اصلی که نرم افزار آلارم متناسب با خطر را صادر نموده است.

$$(u_{kRE}, v_{kRE}) = \begin{cases} (x_0 + w/2, y_0 + h/4) & k = 0 \\ (x_1 - w/6, y_1 - h/2) & k = 1 \end{cases} \quad (۸)$$

که در این معادلات $(u,v)$ مختصات متغیر مکان چشم در تصویر لبه است و $(x,y)$ مختصات اولیه در انتخاب ناحیه‌ی چشم می‌باشد. همچنین $w = x_1 - x_0$ و $h = y_1 - y_0$ می‌باشد. در مجموعه شکل (۶)، مراحل یافتن مکان چشم فرد نمایش داده شده است که در این حالت آلارم به صدا در نمی‌آید و حالت معمولی است.

**آشکارسازی خمیازه:** از دیگر نشانه‌های خستگی هنگام رانندگی که در صورت شخص نمایان می‌شود، تکرر خمیازه و باز شدن بیش از اندازه دهان است که به‌دلیل رفلکس‌های بدن در فرد به هنگام نزدیک‌شدن وی به مرز خواب و خستگی روی می‌دهد. سیستم‌های گوناگونی برای تشخیص خمیازه پیشنهاد شده است که برخی از آن‌ها کند و زمان‌بر عمل می‌کنند و برخی دیگر با دقت پایین در جداسازی ناحیه‌ی دهان به هنگام خمیازه رو به‌رو است. با روش‌های معمول پردازش تصویر به سادگی قادر به کلاسه‌بندی تصویر در جداسازی بخش دهان نخواهیم بود، لذا نیازمند تکنیکی کارآمد و مناسب هستیم که بتواند تغییر بافت صورت را نمایش دهد و وجود خمیازه را آشکار سازد. از روش‌های کلاسه‌گذار در جداسازی بخش‌های مختلف تصویر، شیوه‌ی کلاسترینگ بر اساس محاسبه میانگین‌ها یا K-means است. تابع هدف، به‌دست آوردن کمترین فاصله مابین کلاس‌ها و در اصل مابین پیکسل‌های تصویر است. تابع کمینه‌ساز به‌صورت معادله (۹) تعریف می‌شود:

$$\arg\min \sum \left\| c_j - x_j \right\| \quad (۹)$$

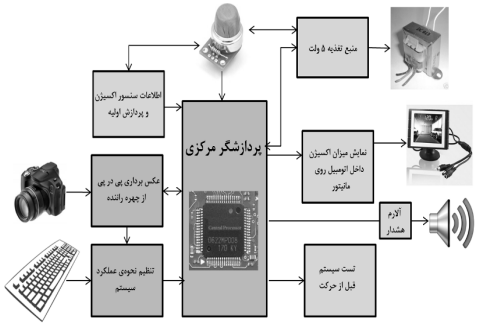
در این معادله، $x_j$ مرکز کلاس jام، $x_i$ پیکسل iام و



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]

$c_j$ها پیکسل‌هایی هستند که به کلاس jام تعلق دارند و به‌صورت $c_j = (x_i \mid \min(\|x_i - x_j\|))$ به‌دست می‌آید. طبقه‌بندی پیکسل‌های تصویر بر اساس میزان شدت روشنایی است که از فراوانی شدت روشنایی‌های تصویر (هیستوگرام) برای انتخاب تعداد افرازهای مناسب استفاده شده است. می‌توان پیکسل‌ها را بر اساس این تقسیم‌بندی به حداکثر ۲۵۵ خوشه افراز نمود. تعداد خوشه‌های پیشنهادی در اینجا ۵ تا ۱۰ افراز بوده است. بنابراین کلاسه‌بندی تصویر توسط الگوریتم K-means این ویژگی را به دنبال دارد که انتخاب آستانه مناسب و Not نمودن شدت روشنایی‌های به‌دست آمده در مرحله کلاسه‌گذاری وجود خمیازه را در تصویر ورودی در میان فریم‌ها آشکار ساخت. در نهایت، بخش اعظم قسمت جداسازی شده در تصویر، مکان دهان و وجود خمیازه را نمایان می‌سازد. در مجموعه‌ی شکل (۷) سیستم آلارم متناسب با تکرر خمیازه را صادر نموده است.

**بخش سخت افزاری**: دیاگرام کلی سیستم در شکل (۸) نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است تصویر دریافت شده از دوربین جهت پردازش به پردازشگر مرکزی فرستاده می‌شود. حسگر اکسیژنی نیز میزان اکسیژن موجود در فضای داخل اتومبیل را دائماً چک کرده و سیستم در صورت کمبود اکسیژن یا وجود علائم خواب در چهره‌ی راننده علائم هشدار را به صدا در می‌آورد.



شکل ۸- دیاگرام کلی بخش سخت‌افزاری سیستم

## یافته‌ها

نرخ پردازش یا فریم برداری این دوربین، ۱۵ fps است و دنباله ویدیویی نخست، مربوط به حالتی است که سر در وضعیت پایین آمدن قرار دارد و شامل ۸۵ فریم نمونه است. دنباله‌ی ویدیویی دوم نیز مربوط به ضبط حالت باز و یا بسته بودن چشم است که در آن ۴۸ فریم تصویری نشان دهنده‌ی بسته بودن چشم ظرف مدت زمان ۳ ثانیه بوده و ۶۵ فریم نیز مربوط به حالت باز بودن طبیعی چشم شخص است. دنباله‌ی ویدیویی سوم نیز خمیازه یا باز بودن مکرر دهان راننده را نشان می‌دهد و در نهایت دنباله‌ی ویدیویی چهارم، ترکیبی از وقوع هر سه حالت است و ضبط آن در مدت زمان بیشتری انجام شده است. در جدول (۱)، دقت متوسط (MAC)، نرخ آشکارسازی (DR) و نرخ هشدار اشتباه (FAR) مطابق با معادلات (۱۲)-(۱۰) محاسبه شده است. این سه فاکتور که برای سنجش صحت تشخیصی در دنباله‌های ویدیویی معرفی می‌شوند، بیانگر عملکرد قابل قبول سیستم پیشنهادی در شناسایی علائم خستگی در چهره فرد به هنگام رانندگی می‌باشند.

$$MAC = \left(\frac{N_{TP} + N_{TN}}{N_{TP} + N_{TN} + N_{FP} + N_{FN}}\right) \times 100 \quad (۱۰)$$

$$DR = \frac{Number\ of\ True\ Positive}{Number\ of\ Drowsy\ Video\ Frames} \quad (۱۱)$$

$$FAR = \frac{\sum Detected\ ROI}{Number\ of\ Video\ Frames} \quad (۱۲)$$

در این معادلات:

$N_{TP}$: تعداد فریم‌هایی است که در آن حالت خستگی وجود داشته و الگوریتم توانسته آن‌را بیابد.

$N_{FN}$: تعداد فریم‌هایی که در آن حالت خستگی وجود داشته و الگوریتم در تشخیص آن با خطا روبه رو بوده است.

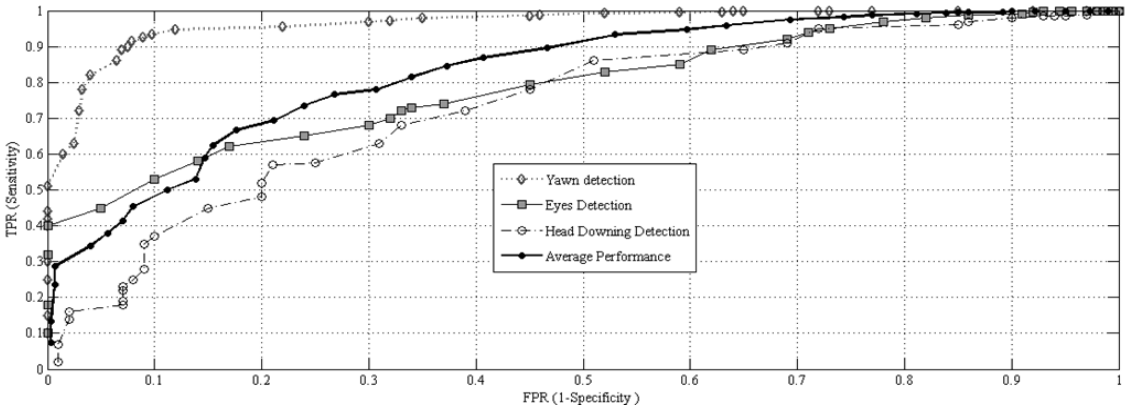
$N_{TN}$: تعداد فریم‌هایی که در آن حالت خستگی وجود



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]

جدول ۱- نمایش دهنده‌ی محاسبه‌ی فاکتورهای دقت میانگین، نرخ آشکارسازی و نرخ هشدار اشتباه است.

| کلیپ‌های ویدیویی | تعداد فریم‌ها | تعداد فریم‌هایی که در آن نشانه‌ی خستگی وجود دارد | | تعداد فریم‌هایی که حالت فرد طبیعی است | | Mean Accuracy (MAC) | Detection Rate (DR) | False Alarm Rate (FAR) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $N_{TP}$ | $N_{FN}$ | $N_{TN}$ | $N_{FP}$ | | | |
| Movie 1 | ۸۵۱ | ۳۱ | ۲ | ۴۶ | ۶ | ٪۹۰/۵۸ | ٪۹۳/۹۳ | ٪۱۱/۵۳ |
| Movie 2 | ۱۱۱۲ | ۴۱ | ۷ | ۶۳ | ۲ | ٪۹۲/۸۵ | ٪۸۵/۴۱ | ٪۳/۰۷ |
| Movie 3 | ۱۳۴۸ | ۲۸ | ۱ | ۹۸ | ۳ | ٪۹۶/۱۸ | ٪۹۶/۵۵ | ٪۲/۹۴ |
| Movie 4 | ۲۶۳۸ | ۱۰۷ | ۱۱ | ۱۳۶ | ۹ | ٪۹۲/۳۹ | ٪۹۰/۶۷ | ٪۶/۲۰ |
| مجموع | ۵۹۴۹ | ۲۰۷ | ۲۱ | ۳۴۳ | ۲۰ | ٪۹۳/۰۶ | ٪۹۰/۷۸ | ٪۵/۸۳ |




شکل ۹- نمودار ROC ۴۰ فریم تصادفی که به‌صورت مجزا برای هر سه الگوریتم محاسبه و به نمایش درآمده است. نمودار سیاه رنگ، نمودار ROC میانگین عملکردی هر سه روش شناسایی است.

ندارد و الگوریتم نیز به درستی اعلام خطر نکرده است.

$N_{FP}$: تعداد فریم‌هایی که در آن حالت خستگی وجود ندارد اما الگوریتم به اشتباه اعلام خطر کرده است.

ROI: ناحیه‌ی هدف در تصویر است که شامل هر سه علامت خستگی در چهره شخص است.

نمودار ROC یک منحنی دوبعدی است که محور x آن نرخ تغییرات خطای مثبت و محور y آن حساسیت یا نرخ تغییرات مثبت صحیح را نمایش می‌دهد. شکل (۹) نمودار ROC را برای مجموعه از ۴۰ فریم تصادفی از میان هر چهار کلیپ تصویری نمایش می‌دهد. برای هر یک از الگوریتم‌های شناسایی خستگی در چهره، این نمودار به نمایش درآمده است و نمودار چهارم نمایانگر عملکرد میانگین سیستم است. سیستم پیشنهادی از تکنیک‌های جدیدی استفاده نموده است و تنها از لحاظ عملکرد با سایر روش‌های مشابه مقایسه شده است. در مجموعه شکل (۱۰)، الگوریتم پیشنهادی بر یک رشته ویدیویی دیگر پیاده‌سازی شده است.

## بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، نتایج عملی نشان داد که سیستم قابلیت پیاده‌سازی را در سطح گسترده‌تری داراست و به‌کارگیری دو یا سه دوربین حساسیت و دقت عملکردی را تا حد قابل ملاحظه‌ای افزایش خواهد داد. این روش، تکنیک جدیدی است و از لحاظ عملکرد با سایر روش‌های تشخیص خستگی مقایسه شده است. روش‌ها از پایگاه داده تقریباً متفاوت استفاده نموده‌اند؛ با این تفاوت که روش پیشنهادی در این مقاله بر پایگاه داده بیشتری اعمال شده است. در مقایسه با روش‌های چون Visual Information [۱۸] و Driver Vigilance Monitoring [۱۱] حساسیت و ویژگی مناسب‌تری در مدت زمان



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]




شکل ۱۰- دیاگرام کلی بخش دوم نرم‌افزاری سیستم (a)، (b) و (c) فریم‌های دریافت شده از دنباله ویدیویی سه‌گانه که در آن‌ها علائم خستگی فرد مشهود است و در فریم دوم حالت چشم به‌صورت باز است، و در (d)، (e) و (f) مراحل پیاده‌سازی الگوریتم‌ها به نمایش در آمده است.

جدول ۲- مقایسه روش‌های تشخیص خستگی رانندگان با الگوریتم پیشنهادی از لحاظ دقت و زمان عملکرد

| تکنیک | مرجع | دقت (درصد) | زمان پاسخگویی (ثانیه) |
|---|---|---|---|
| الگوریتم‌های مبتنی بر ماشین بینایی | Bergasa[۱۱] | ۸۳/۹۹ | ~ ۲ |
| | Qiang [۱۴] | ۹۶/۱۲ | ~ ۴/۵ |
| | Flores [۱۸] | ۹۴/۸۵ | ~ ۲/۵ |
| | الگوریتم پیشنهادی | ۹۳/۰۶ | ~ ۰/۸۵ |

اندک‌تری حاصل آمده است.

روش‌های MDV و VI از لحاظ ارائه دقت به ترتیب در سطوح متوسط و مناسب قرار دارند. اما روش VI در مدت زمان طولانی‌تری نسبت به حالت خستگی چهره اعلام خطر می‌کند و این ایراد بزرگی به حساب می‌آید. همین مشکل در روش Qiang [۱۴] نیز خودنمایی می‌کند. مزیت عمده روش Qiang در آشکارسازی هم‌زمان حالات خستگی چهره‌ی راننده است. روش پیشنهادی بر خلاف سه روش معتبر شناسایی خستگی چهره در اندک زمانی (۰/۸۵~ ثانیه) خروجی می‌دهد و علی‌رغم حساسیت بالاتر از ۹۵٪، ویژگی مناسب‌تری را نیز (حدود ۹۴٪) ارائه می‌دهد. در برخی از حالات ذکر شده روش‌های پیشین، بر یکی از حالات خستگی تکیه شده است، در حالی‌که موازی بودن هر سه حالت اصلی خستگی در صورت راننده، امکان پیاده‌سازی سیستم را در شرایط واقعی فراهم می‌آورد.

بالا بودن نرخ مرگ و میر در تصادفات جاده‌ای که بخش عمده‌ی آن مربوط به خطاهای انسانی در اثر خستگی است، به‌کارگیری این سیستم را در جهت هشدار به فرد به هنگام رانندگی توجیه خواهد نمود. سیستمی که در این مقاله معرفی شد از سه الگوریتم مجزا استفاده نموده است که در سطح قابل قبولی با دقت متوسط ۹۳/۰۶٪ عملکرد صحیح دارد. نمودار ROC نهایی میزان بالابودن حساسیت نسبی را در تشخیص نمایش می‌دهد و از سویی در میان ۵۹۴۹ فریم نمونه، نرخ آشکارسازی علائم خستگی در صورت و ناچیز بودن نرخ هشدار نادرست از مشخصه‌های اصلی سیستم است. سرعت بالای پردازش داده‌ها و دقت مناسب سیستم، وجه تمایز آن نسبت به سایر روش‌های مشابه است. گسترش و بهبود سراسری این سیستم سالیانه جان میلیون‌ها انسان را نجات خواهد داد. این سیستم نتیجه‌ی پیاده‌سازی یک پژوهش عملی است و در برخی موارد با ایراداتی نظیر عملکرد نامناسب در زمان تابش فراوان نور، وجود ریش یا عینک بر چهره و تیرگی پوست همراه است. هدف آتی نویسندگان مقاله، پیش‌بینی حالات خستگی در چهره رانندگان است که با استفاده از سری‌های زمانی و شبکه‌های عصبی صورت خواهد گرفت.

## منابع

1. Jafarzadeh R. A comprehensive outreach campaign plan to the nation's security. Thought Work and Sui Road Company; 2008, pp. 1-6.
2. Ghafryan Hosseini H. Hossein-Zadeh A. Display driver drowsiness warning system. International Conference of the road and traffic accidents; Tehran University, 2006.
3. Bergasa L.M, Nuevo J.u, Sotelo M.A, Barea R,



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]

and Lopez E. Visual Monitoring of Driver Inattention. Studies in Computational Intelligence (SCI). 2008.

4. Zhang C, Lin X, Lu R, Ho PH, Shen X. An efficient message authentication scheme for vehicular communications. IEEE Trans Veh Technol; 2008, 57(6): 3357–3368.

5. Manvi SS, Kakkasageri MS, Pitt J. Multiagent based information dissemination in vehicular ad hoc networks. Mobile Inform Syst; 2009, 5(4):363–389.

6. Liu C.C, Hosking S.G. Predicting driver drowsiness using vehicle measures, recent insights and future challenges. J safety Res; 2009, 40(4): 239-245.

7. Barbato G, Ficca G, Beatrice M, Casiello M, Muscettola G and Rinaldi F. Effects of sleep deprivation on spontaneous eye blink rate and alpha EEG power. Biol Psychiatry. 1995; 38(5): 340-341.

8. Conner J, Norton R, et al. Driver sleepiness and risk of serious injury to car occupants: population based case control study.Br. Med. J.; 2002, 324 1125.

9. Dinges D, Maislin G. Pilot test fatigue management technologies (No. Issue 1992): US Transportation Research Record; 2005, pp 66-74.

10. Ji Q, Zhu Z, Lan P. Real-time nonintrusive monitoring and prediction of driver fatigue. IEEE Trans Veh Technol; 2004, 53(4):1052–1068.

11. Bergasa L.M, Nuevo J. Real-Time system for monitoring driver vigilance. IEEE Transactions on Intelegent Transportation Systems; 2006, 7(1): 63-77.

12. Johns M.W. The Amplitude velocity Ratio of Blinks: A new method for monitoring drowsiness. Paper presented at the 7th Annual Conference, Associated Professional Sleep Societies (APSS). 2003.

13. Johns M.W, Tuker A. Monitoring eye and eyelid movement by infrared reflectance oculography to measure drowsiness in driver. Somnologie; 2007, 11, pp 234-242.

14. Qiang J, Zhiwei Z, Peilin L. Real Time Non-intrusive Monitoring and Prediction of Driver Fatigue. IEEE Vehicular Technology Society Journal; 2012, 61(7): 13-38.

15. Yang M.H, Kriegman D.J, Ahuja N. Detecting faces in images: A survey, IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence; 2002, 24(1): 34-58.

16. Gejgus P, Sparka M. Face Tracking in Color Video Sequences. The Association for Computing Machinery Inc., New York, 2003.

17. Gonzales R.G, and R.E. Woods. Digital Image Processing. Second Edition, Prentice Hall, 2002.

18. Flores M.J, Armingol J.M, and Escalera A. Real-Time Warning System for Driver Drowsiness Detection Using Visual Information. J Intell Robot System; 2009, 10(1): 10-33.



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]

# Real-Time Intelligent Alarm System of Driver Fatigue Based on Video Sequences

Kh. Rezaee[1], Gh. Mohammadi[2], I. Mirzajani[3], J. Hadadnia[4]

Received: 2012/07/03 Revised: 2012/10/06 Accepted: 2012/10/11

## Abstract

**Background and aims**: Developing intelligent systems to prevent car accidents can be very effective in minimizing accident death toll. One of the factors which play an important role in accidents is the human errors. Fatigue driving is one of the cases that can cause errors and reduce accuracy in contorlling the vehicle.

**Methods**: The signs of fatigue and sleepiness while driving is revealed based on video processing techniques. In this model, the person's face is filmed by a camera in the first step by receiving 15fps video sequence. Then, the images are transformed from RGB space into YCbCr and HSV spaces. The face area is separated from other parts. That the eyes are open or closed in a specific time interval is determined by focusing on thresholding and equations concerning the symmetry of human faces a finally using K-means Clustering, the frequency of yawning is identified. In the evaluation phase, the implementation of the algorithm on video sequences recorded under real conditions in urban and suburban areas and compared with methods such as Visual Information and Monitoring Driver Vigilance, better performance was achieved.

**Results**: The proposed system has been implemented on different video sequences with average accuracy of 93.18% and detection rate (DR) of 92.71% out of total 5900 image frames.

**Conclusion**: High accuracy in segmentation, low error rate and quick processing of input data distinguishes this system from similar ones. This system can minimize the number of accidents caused by drivers' fatigue.

**Keywords:** Driver fatigue, HSV spaces, Video processing, Segmentation of face, K-means Clustering.

1. (**Corresponding author**) Biomedical Engineering Student, Biomedical Engineering Group, Department of Electrical and Computer Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran. Rezaeekhosro@ymail.com
2. Electronic Engineering Student, Electrical Engineering Group, Department of Electrical and Computer Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.
3. Electronic Engineering Student, Electrical Engineering Group, Department of Electrical and Computer Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.
4. Biomedical and Electronic Engineering Assistance Professor, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]