

Analyzing driving behavior based on vehicle information logging using MPU6050

A. Ayat, A. Taghavipour*

Mechanical Engineering Department, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

ABSTRACT: The most important factor in car accidents and even traffic congestion is the driving behavior of human. Analyzing the driving behavior and applying restrictions on risk-making drivers can reduce probable causalities and improve transportation safety. A hardware can collect the data related to the driving conditions and processes that information that may be useful in this regard. By analyzing the information recorded by the hardware, one can obtain an approximate prospective of the driving behavior. This prospective can distinguish a careful driver from a careless one. By collecting various data in different conditions, the accuracy of these criteria will be improved. On the other hand, the accuracy of different components of the hardware is crucial since the unexpected noises deteriorate the performance of data collection. In this research, a data analysis module is developed to record the acceleration and angular velocity of a sample vehicle to identify the driving behavior and propose quantitative criteria to distinguish aggressive and cautious drivers. In this way, one can figure out if his/her driving habits are dangerous or not.

Review History:

Received: Aug. 26, 2020

Revised: Nov. 08, 2020

Accepted: Jan. 02, 2021

Available Online: Feb. 02, 2021

Keywords:

Driving accidents

Driving behavior

Vehicle data logger module

Driving criteria

1- Introduction

Iran ranks first in the world with more than 800,000 cases of car accidents annually, which causes almost 6-billion-dollar financial loss and irrecoverable human casualties as well. Reported studies state that there are 3 factors contributing to an accident: Driver, vehicle and road, whereas the first one is the most important factor. Each driver has his/her driving behavior. Cautiousness, driving skill, personal characteristics and driver's mood may have effect on the driving behavior. Driving behavior would affect vehicle dynamics, especially speed and acceleration. Hence, it can be concluded that observing Acceleration-Deceleration (A/D) profile and speed pattern, will give us useful data about drivers' behavior model and recognize different drivers even if they are drunk. Based on this model we can find standard criteria of acceleration and speed for cautious driving.

Studies show that the absolute amount of linear acceleration or deceleration should never exceed 0.5g and proper angular lane change acceleration is under 0.1g [1]. Most of the studies are focused on brake deceleration due to high probability of occurrence in a crash. Table 1 summarizes the suitable brake deceleration that is recommended by some studies. Subscription of all recommended acceleration and speed ranges may guide us to access good criteria for analyzing driver behavior. The present study aims to verify universal cautious driving criteria for the Iranian drivers to

develop a data-gathering hardware that can be installed on each vehicle to observe and judge driver behavior based on collected data.

2- Methodology

The objective of this work is to develop a simple practical data-logger to gather A/D and speed data. For this purpose, Arduino Uno R3 board was used as the processor MPU6050 chip was chosen as its accelerometer and gyroscope. Tables 2 and 3 show brief characteristics of the chip.

Note that many modules use MPU6050 chip for data collection and their final extracted data may differ based on their quality of production. We compared GY521 and GY86 acceleration and angular speed data with LIS2HH12 accelerometer and gyroscope chip produced by ST which is used in SAMSUNG mobile phones like GALAXY S6.

Table 1. Recommended braking deceleration threshold by studies

Author	Year	Speed (km/h)	Deceleration rate
Bennett [2]	1995	90-100	0.23g
Akcelik [3]	2001	60	0.3g
Wang [4]	2005	80-90	0.26g

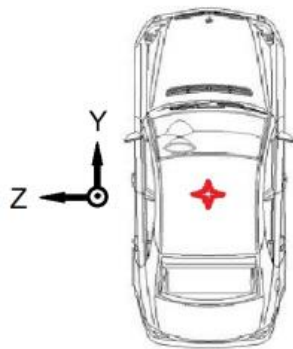
*Corresponding author's email: taghavi@kntu.ac.ir

Table 2. MPU6050 accelerometer characteristics [4]

Acc range (g)	Sensitivity (LSB/g)	Logic supply	Operating supply (V)
±2	16384	VDD	2.375-3.46
±4	8192		
±8	4096		
±16	2048		

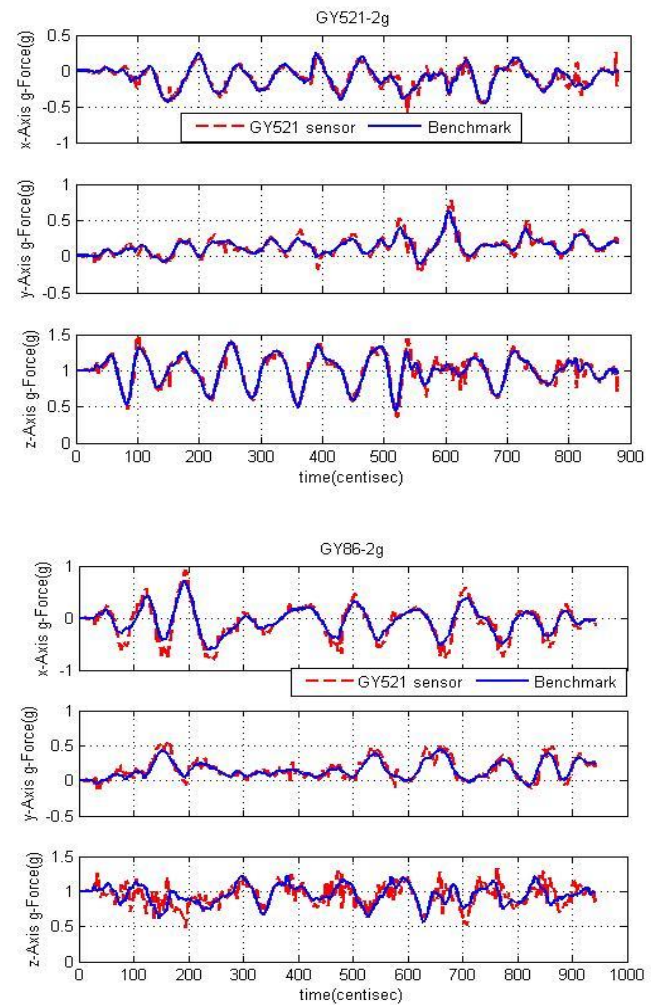
Table 3. MPU6050 gyroscope characteristics [4]

Gyro range (°/sec)	Sensitivity (LSB/°/sec)	Noise rate (dps/√Hz)	Operating supply (V)
±250	131	0.005	2.375-3.46
±500	65.5		
±1000	32.8		
±2000	16.4		

**Fig. 1. Proper position and direction of data logger**

We conducted several experiments on both GY521 and GY86 in different ranges in the same condition to find out which one follows the reference (LIS2HH12) in the best way. The method was setting modules next to each other beside the mobile phone and installing the package in the middle of center console to get rid of conversion calculations. We should set both GY coordinates parallel to the chassis assigned axes. The proper position and direction of data-logger are shown in Fig. 1. Before each experiment, both GY coordinates were calibrated with the chassis axes. We used a mobile holder to reduce induced noises from engine and road. In addition, a low-pass filter was used in the Arduino code to extract smoothened data. As it is depicted in Fig. 2, GY86 shows more inertia in following the reference acceleration. Finally, we find GY521 extracted data more reliable. Subsequent experiments were done by using GY521.

After selecting the accurate module, finding the best range of data gathering for accelerometer and gyroscope is the

**Fig. 2. GY521 and GY86 acc data ±2g**

next level. Clearly wide range of data may result in noises and outlier data. Same technique for data collecting as the previous experiment was held. As expected, ±2g and ±250°/s were the most accurate range. Table 4 compares mean squared error of GY521 and GY86 in different acceleration ranges.

In the final step we asked a random driver to do 6 driving maneuvers while data-logger was running. Driver was a 24-year-old man with 6 years of driving experience. The vehicle was chosen from the Iranian domestic produced car with commonly used engine, chassis and gearbox. All experiments were conducted on a deserted asphalt road downtown with enough space to do maneuvers.

The driver was asked to do all 6 maneuvers in two styles, the former cautious driving style and the latter in aggressive driving. The driver was free to accelerate or decelerate the car to do the maneuver by his own experience. Here are maneuvers: Speeding up from 0 to 60km/h in linear direction, Braking from 60km/h to 0 in linear direction, Left and Right lane change at 60km/h, Left and Right turn at 30km/h.

Table 4. GY521 and GY86 Acc MSE based on Reference

Module	GY86		GY521		
Acc. range	$\pm 2g$	$\pm 2g$	$\pm 4g$	$\pm 8g$	$\pm 16g$
X	0.119	0.059	0.076	0.087	0.054
Y	0.058	0.053	0.126	0.103	0.068
Z	0.128	0.067	0.106	0.117	0.081

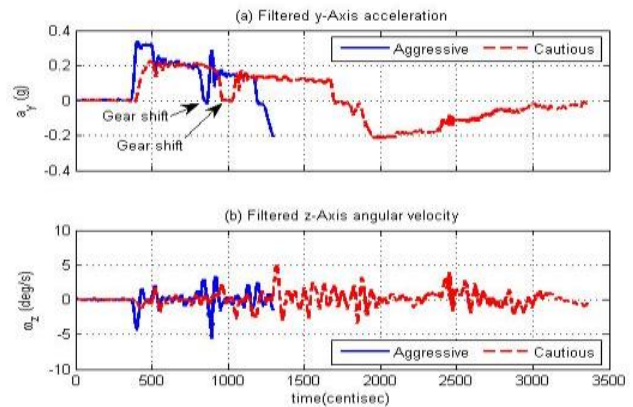
Table 5. Driving criteria

Maneuver	A/D		Gyro	
	Axis	Max(g)	Axis	Max(°/s)
Speed up	Cautious	0.23	z	-3.5
	Aggressive	0.34		-5.6
Brake	Cautious	-0.16	z	1.9
	Aggressive	-0.68		3.5
L Lane change	Cautious	0.1	(x,y)	(5,3)
	Aggressive	0.42		(19,11)
R Lane change	Cautious	-0.1	(x,y)	(-5,-3)
	Aggressive	-0.42		(-19,-11)
L Turn	Cautious	0.2	x	29
	Aggressive	0.5		50
R Turn	Cautious	-0.2	x	-29
	Aggressive	-0.5		-50

3- Results and Discussion

Fig. 3 depicts the result of maneuvers. As it is illustrated, acceleration and angular velocity charts give us clear useful information about how the careful driver's profile differs from the careless drivers'. To form driving criteria, maximum amount of each chart is significant. Table 5 summarizes these extracted maximum quantities from the charts.

To validate our extracted data, we have compared them with other references. Traffic Engineering Handbook of United States mentions that deceleration rate of 0.346g is suitable to stay in line and maintain steering control [5]. AASHTO declares deceleration rate greater than 0.458g is for sudden brakes when driver faces unexpected object on the road [6]. ISO15622, standard for designing adaptive cruise control systems, knows -0.357g maximum rate for deceleration, 0.2g maximum rate for acceleration and 0.234g maximum lateral rate for turning curves of road to keep driver in comfort [7]. In [1], Fazeen and Gozick have proposed that safe acceleration and deceleration never exceed the g-force of more than $\pm 0.3g$ and sudden rates approach $\pm 0.5g$. Safe left/right lane changes produce an average g-force of less than $\pm 0.1g$. By comparing all aforementioned data with Table 5, the accuracy of our results will be determined.

**Fig. 3. A/D and angular velocity charts**

4- Conclusions

Driver behavior monitoring can be extremely effective in reducing accident rate by recording high-risk actions of each driver and giving them driving manner correction procedures. Aggressive drivers will be revealed easily and controlling actions can be applied to them. There are several methods to monitor driver behavior. In this work, we have tried to monitor driver behavior by using a simple data-logger in order to find the best driving criteria to define a suitable standard of driving for Iranian drivers based on universal standards.

References

- [1] M. Fazeen, B. Gozick, R. Dantu, M. Bhukhiya, M. C. González, Safe Driving Using Mobile Phones, Transactions on intelligent transportation systems, IEEE, 13(3) (2012) 4.
- [2] C. Bennett, R.C.M. Dunn, Driver deceleration behavior on a freeway in New Zealand, Transportation research record, 1510 (1995) 70-75.
- [3] R. Akçelik, M. Besley, Acceleration and deceleration models, In Proceedings of 23rd Conference of Australian Institute of Transport Research, Monash University Melbourne, Australia, (2001) 9P.
- [4] J. Wang, K. Dixon, H. Li, J. Ogle, Normal deceleration behavior of passenger vehicles starting from rest at all way stop controlled intersections, Transportation research record, 1883(1) (2004) 158-166.
- [5] A. Pande, B. Wolshon, Traffic Engineering Handbook, Institute of Transportation Engineers, 7 (2016) 242.
- [6] AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Green Book, American Association of State Highway and Transportation Officials, 7 (2018) 202.
- [7] ISO 15622:2010, Intelligent transport systems-Adaptive cruise control systems-performance requirements and test procedures, International organization for standardization, Geneva, Switzerland, 2 (2010) 11-17.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

A. Ayat, A. Taghavipour, Analyzing driving behavior based on vehicle information logging using MPU6050, Amirkabir J. Mech. Eng., 53(Special Issue 6) (2021) 915-918.

DOI: [10.22060/mej.2021.18910.6916](https://doi.org/10.22060/mej.2021.18910.6916)





تحلیل شیوه رانندگی بر اساس ثبت اطلاعات خودرو با استفاده از ماژول واحد ریزپردازنده ۶۰۵۰

امیر آیت، امیر تقوی پور*

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۵

بازنگری: ۱۳۹۹/۰۸/۱۸

پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۳

ارائه آنلاین: ۱۳۹۹/۱۱/۱۴

کلمات کلیدی:

تصادفات رانندگی

پروفایل رفتار رانندگی

دستگاه ثبت اطلاعات خودرو

معیارهای رانندگی

خلاصه: مهم‌ترین عامل در تصادفات رانندگی و حتی بروز ترافیک، فاکتورهای انسانی می‌باشد که متاثر از روش رانندگی افراد است. این در حالی است که می‌توان با دسترسی به اطلاعات حاصل از شیوه رانندگی می‌توان اقدام به تحلیل آن نمود و با اعمال محدودیت بر رانندگان پرخطر در مسیر ایمن‌سازی جاده‌ها و کاهش تلفات گام برداشت. هدف این پژوهش دستیابی به اطلاعات رانندگی به منظور ترسیم پروفایل رفتار رانندگی جهت تحلیل شیوه رانندگی خودروسواران و سپس تشخیص پرخطر بودن یا محتاطانه بودن روش آنهاست. در این راستا طراحی و ساخت دستگاه ثبت اطلاعات شتاب‌های خطی و سرعت‌های زاویه‌ای به عنوان مهم‌ترین عوامل موثر، اولین گام برای رسیدن به مقصود خواهد بود. پس از این با بررسی اطلاعات به دست آمده طی آزمایش‌های متعدد، روند تحلیل و یافتن معیارهایی برای قضاوت شیوه رانندگی مطرح شده است. این معیارها چارچوب رانندگی ایمن را مشخص می‌سازند. بدیهی است اگر اطلاعات به دست آمده از شیوه رانندگی فردی در خارج از این چارچوب باشد، در صلاحیت وی برای رانندگی باید تجدید نظر و جرایم مربوطه در نظر گرفته شود.

۱- مقدمه

سالانه ۸۰۰ هزار تصادف در ایران روی می‌دهد که از حیث آمار مرگبارترین حوادث جاده‌ای، ایران رتبه اول را در جهان دارد. همه ساله تصادفات جاده‌ای ایران باعث مرگ حدود ۲۸۰۰۰ نفر و مصدومیت یا معلولیت ۳۰۰۰۰۰ نفر دیگر می‌گردد. نرخ سوانح رانندگی ایران ۲۰ برابر میانگین جهانی است. مرگ و میرهای ناشی از سوانح رانندگی سالانه شش میلیارد دلار هزینه بر اقتصاد کشور تحمیل می‌کند، که معادل بیش از ۵ درصد تولید ناخالص ملی^۱ است [۱]. بررسی‌ها نشان می‌دهد مهم‌ترین دلایل تصادفات رانندگی و حتی بروز ترافیک، سه عامل مهم خطای انسانی، وسیله نقلیه و شرایط محیطی مانند کیفیت جاده می‌باشد [۲]. در این میان خطاهای انسانی نظیر خواب‌آلودگی، خستگی، بیماری، مصرف مشروبات الکلی و یا روانگردان‌ها، استرس، مشغله فکری و مهارت رانندگی مهم‌ترین عوامل در شکل‌گیری سوانح رانندگی است. تمامی این موارد ۳۵ درصد از سهم

تصادفات جاده‌ای را به خود اختصاص داده‌اند که نشانگر اهمیت بالای عوامل انسانی در رانندگی است [۳]. در بررسی عامل‌های انسانی^۲ بسیار مهم است که میان خطاهای انجام‌شده در هوشیاری و خطاهای صورت گرفته در حالت ناخودآگاهی تمایز قائل شد، چراکه بیشتر تصادفات ناشی از خطای انسانی در هنگام عدم هوشیاری راننده رخ می‌دهند. از طرفی مهیانشدن زیرساخت‌های مناسب حمل و نقل ایمن موجب شده است خودروسواران همواره در تلاش برای تعجیل در پیمایش مسیر برای رسیدن به مقصد باشند و در نتیجه بروز رفتارهای پرخطر رانندگی مانند تغییر خط ناگهانی و شتاب‌گیری سریع و یا ترمزگیری شدید دور از ذهن نیست. لذا با بررسی موارد فوق می‌توان به اهمیت خصیصه‌های خلقی در شکل‌گیری رفتار رانندگی هر فرد پی برد، به این نحو که افراد تحت شرایط مختلف روحی و روانی رفتارهای قابل درکی ابراز می‌کنند که شیوه رانندگی شخص را تحت تاثیر قرار می‌دهد. پارامترهای بسیاری مانند شرایط ساختاری شهری و جاده‌ای، قوانین راهنمایی و رانندگی، تجربه و مهارت رانندگی، ویژگی‌های شخصیتی نظیر کم‌حوصلگی و حتی

1 GDP: Gross domestic product

2 Human factors

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: taghavi@kntu.ac.ir

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لایسنس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لایسنس، از آدرس <https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode> دیدن فرمائید.



جدول ۱. مقایسه شتاب ترمزی مینا در مطالعات انجام شده

Table 1. Recommended braking deceleration threshold by studies

نویسنده	سال	سرعت (km/h)	شتاب
گزیس [۶]	۱۹۶۰	۷۲	۰/۵ g
پارسونسون و سانتیاگو [۷]	۱۹۸۰		۰/۳ g
ورتمان و فاکس [۸]	۱۹۹۴	۸۰/۵-۴۸/۳	۰/۲ g-۰/۴ g
بنت و دان [۹]	۱۹۹۵	۹۰-۱۰۰	۰/۲۳g
آکلیک و بسلی [۱۰]	۲۰۰۱	۶۰	۰/۳g
وانگ [۱۱]	۲۰۰۵	۸۰-۹۰	۰/۲۶g

آن است که در اکثر مقالات شتاب ترمزگیری بیشتر مورد توجه بوده است. چراکه ترمزهای شدید بیانگر بروز حوادث می باشد و طبعاً پروفایل رفتار رانندگی هر راننده ای که تعداد دفعات بیشتری از این کاهش های ناگهانی شتاب داشته باشد، شاخص خوبی از بی احتیاطی وی خواهد بود. در جدول ۱ نتایج تحقیقات تعدادی پژوهشگران برای یافتن حد شتاب ترمزگیری مناسب آورده شده است.

فهم دقیق عوامل موثر در رانندگی به سبک ایرانی، روندی بسیار پیچیده دارد و نیازمند پیاده سازی پژوهش ها و مطالعات جامعه شناسی و روانشناسی و تلفیق آنها با علوم مهندسی است که مستلزم صرف هزینه و زمان بسیار است. به ناچار برای رسیدن به درک کلی موضوع می بایست از بین پارامترهای حاکم بر مسئله اقدام به انتخاب موثرترین عوامل نمود. از میان پارامترهای مختلفی نظیر داده های ژيروسکوپ^۱، سرعت، شتاب، جرم^۲، تغییرات موقعیت مکانی خودرو و داده های قطب نما، چهار مورد اول بیشترین تاثیر را در ترسیم دقیق مدل رفتاری رانندگی دارند. با اتکا به این موضوع بسیاری از پژوهش ها با به کار بستن روش های آماری سعی در جمع آوری داده های شتاب و ژيروسکوپ از سنسورهای گوشی تلفن هوشمند نموده اند و بسیاری دیگر با استفاده از سیستم تعیین موقعیت جهانی^۳ به تحلیل داده های سرعت خودرو برای رسیدن به مدل رفتاری رانندگی پرداخته اند. تمامی این روش ها دقیق و در نوع خود قابل اتکا هستند اما با توجه به در دسترس نبودن سیگنال های سیستم تعیین موقعیت جهانی در تمامی موقعیت های مکانی و از طرفی وابسته بودن آن به شرایط آب و هوایی، روند داده برداری سیستم تعیین موقعیت جهانی وابسته به تامین شرایط محیطی بسیاری خواهد بود. سنسورهای گوشی های هوشمند بسیار دقیق هستند اما تمامی گوشی ها به طور همزمان هردو سنسور شتاب سنج^۴ و ژيروسکوپ را ندارند و از طرفی دسترسی به داده های آنها به استفاده از نرم افزارهای متناسب با سیستم عامل گوشی محدود است. نهایتاً انتظار اینکه رانندگان خودرو در هر بار رانندگی به راه اندازی این نرم افزارها و برداشت داده بپردازند و در آخر خروجی را به پژوهشگران تحویل دهند بسیار دور از واقعیت به ذهن می نماید. با توجه به موارد بالا راهکار در طراحی و ساخت سیستم برداشت و ثبت داده^۵ در قالب یک برد الکترونیکی با صرف کمترین هزینه به منظور توسعه و تولید در تیراژ بالا است. این در حالی است که تحت نظر داشتن رانندگان می تواند

مسائل روحی و روانی در شکل گیری مدل رفتاری رانندگی موثر می باشد، اما در صورت دستیابی به مدل رفتار رانندگان تحت شرایط گوناگون و پیش بینی اعمال آنها می توان به پیشگیری از وقوع حوادث رانندگی کمک نمود. تحلیل و رفتار شناسی رانندگی یکی از موضوعات مورد عطف در بسیاری پژوهش های حوزه حمل و نقل است که توجه کارشناسان زیادی را در جهان برای کار و تحقیق در این زمینه به خود اختصاص داده است. در ایران با توجه به مدل رانندگی منحصر به فرد و غیر استاندارد رانندگان ایرانی، انجام تحقیقات در این زمینه بسیار ضروری است که متأسفانه فضای تحقیقاتی کشور خالی از وجود چنین پژوهش هایی است. در راستای آشنایی با مقالات مشابه خارجی در ادامه به مرور نتایج تعدادی از آن ها در این حوزه پژوهشی می پردازیم. یکی از مفیدترین کارهای انجام شده در این زمینه با تحقیق بر روی رفتار رانندگی شش راننده با خودرو متفاوت و برداشت اطلاعات شتاب آنها با استفاده گوشی تلفن همراه، نتیجه گیری می کند که محدوده مناسب افزایش و کاهش شتاب خودرو نمی بایست از حد $0.3g$ تجاوز کند. به علاوه محدوده محتاطانه تغییر خط باید کمتر و یا حوالی $0.1g \pm$ باشد [۴]. در مقاله دیگری شتابگیری و کاهش شتاب پنج مدل خودرو کامیونت، سواری بنزینی و دیزل، خودروهای سه چرخ و موتورسیکلت در اتوبان های هند با شرایط برقراری ترافیک روان و در حالت محتاطانه بررسی شده است که نهایتاً میانگین مقادیر مجاز برای خودرو های سواری بنزینی $0.29g$ در حالت شتابگیری و $0.45g$ برای ترمزگیری اعلام شده است [۵]. نکته حائز اهمیت

1. Gyroscope
2. Jerk
3. GPS: Global positioning system
4. Accelerometer
5. Data logger

پروتکل‌های ارتباطی مختلفی را داراست. برد مورد استفاده در این پروژه مدل آردوینو یونو می‌باشد. دلیل استفاده از این برد قیمت ارزان (نمونه چینی) و دسترسی آسان می‌باشد. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد بردهای آردوینو می‌توانید به مرجع [۱۲] مراجعه فرمایید.

برای ثبت داده‌ها از تراشه واحد ریز پردازنده 6050^2 استفاده شده‌است که در قسمت بعد به آن خواهیم پرداخت. علت انتخاب این ماژول دقت بالا، در دسترس بودن، وجود نمونه برنامه‌های آماده و رابط کاربری آسان می‌باشد.

۲-۲- ماژول واحد ریزپردازنده 6050^2

ماژول واحد ریزپردازنده 6050^2 یک سامانه میکروالکترومکانیکی^۳ در ابعاد کوچک، ساخته شرکت اینونسنس و جهت تشخیص و تعقیب انواع حرکت است. از کاربردهای آن می‌توان به جهت یابی، مکان یابی، ردیابی و کنترل حرکت نام برد. این ماژول تجمیعی از یک شتاب‌سنج سه محوره و یک ژیروسکوپ سه محوره با دقت بالا (16 بیتی) بر روی یک بستر سیلیکونی است، لذا به آن ماژول 6 درجه آزادی نیز گفته می‌شود. از این قطعه میکروالکترومکانیکی در انواع پروژه‌های آموزشی و صنعتی نظیر هواپیماهای بدون سرنشین^۴، ربات‌ها با ویژگی خودتصادی، رابط‌های بازی، گوشی‌های تلفن هوشمند و بسیاری پروژه‌های دیگر که هدف آنها به‌دست‌آوردن اطلاعات دینامیکی باشد استفاده می‌شود [۱۳].

علاوه بر شتاب‌سنج سه محوره و ژیروسکوپ سه محوره سنسور دماسنج دیجیتال با بازه اندازه‌گیری دمایی -40 تا $+85$ درجه سانتیگراد بر روی چیپ قرار دارد. این ماژول از یک بافر $B1024$ خروج به ترتیب ورود^۵ به همراه یک پردازشگر حرکت دیجیتال^۶ برای تبدیل دستگاه‌های مختصاتی و ادغام داده‌ها به منظور رسیدن به خروجی دقیق‌تر استفاده می‌کند. پردازشگر حرکت دیجیتال بار محاسباتی پردازنده خارجی را کاسته و سرعت پردازش را افزایش می‌دهد و امکان پردازش الگوریتم‌های پیچیده 9 محوری (سه محور شتاب خطی، سه محور ژیروسکوپ، سه محور شتاب زاویه‌ای) را فراهم می‌سازد [۱۳]. شرکت سازنده اطلاعات دقیقی از این پردازنده ارائه نکرده‌است. با این حال عده‌ای از مهندسين کامپیوتر و الکترونیک با کار بر روی این پردازنده، کتابخانه‌هایی برای استفاده از آن نوشته‌اند. سایر مشخصات کاری چیپ واحد ریز پردازنده 6050^2 در جدول ۲ آورده شده‌است.

تأثیر مثبتی در خودمراقبتی آنها داشته باشد. در صورت دسترسی به پروفایل رفتاری راننده و تحلیل آن و طبقه‌بندی رانندگان، می‌توان با یافتن رانندگان پر خطر و اعمال محدودیت بر آنها، شرایط رانندگی برای سایرین را ایمن‌تر نمود.

از دیگر مزایای این پژوهش عدم نیاز به اتصال دستگاه به سایر قطعات داخلی خودرو و حتی سیستم کنترل آن می‌باشد. لذا می‌توان این اطمینان را به صاحبان خودرو داد که هیچ یک از قطعات خودروی آنها مورد دستکاری قرار نخواهد گرفت. این دستگاه بدون واسطه بر روی خودرو تعبیه می‌شود و برای کارکردن تنها نیاز به تامین برق خود از باتری دارد. مصرف برق دستگاه بسیار پایین بوده و در مقابل سایر سیستم‌های مصرف‌کننده برق خودرو قابل اغماض است. با روشن شدن خودرو، دستگاه به ثبت اطلاعات شتاب و ژیروسکوپ می‌پردازد. در نهایت با انجام پردازش بر روی این اطلاعات امکان تحلیل کیفیت رانندگی و ترسیم مدل رفتاری میسر خواهد بود. از طرفی دسترسی به اطلاعات رفتاری رانندگان می‌تواند زمینه ساز شکل‌گیری پایگاه اطلاعاتی جهت تحلیل و بررسی رفتار راننده و ارائه خدمات مرتبط باشد. همچنین این پایگاه اطلاعاتی می‌تواند مبنای پژوهش‌های آتی باشد. هدف از انجام این پژوهش طراحی و ساخت یک ماژول جمع‌آوری اطلاعات خودرو و سپس تحلیل اطلاعات بدست‌آمده جهت دسته‌بندی رفتارهای رانندگی محتاطانه و پرخطر براساس مانورهای مختلف است. در بخش دوم سخت افزارهای مورد نیاز معرفی می‌شوند و در بخش سوم نحوه ارتباط سخت افزارها جهت ساخت ماژول جمع‌آوری اطلاعات خودرو و نیز صحت‌سنجی نحوه عملکرد آن بررسی می‌شود. در بخش چهارم نیز ماژول مذکور بر روی یک خودروی سواری نصب‌شده و نتیجه آزمایشات متعدد در مانورهای مختلف نمایش داده می‌شود تا در نهایت معیاری جهت سنجش نحوه رانندگی بدست آید.

۲- آشنایی با سخت‌افزارهای مورد استفاده

برای تهیه ماژول جمع‌آوری اطلاعات نیاز به یک برد دیجیتال با قابلیت ارتباط با سنسورهای مختلف وجود دارد.

۲-۱- آردوینو

آردوینو برد دیجیتال هوشمندی است که همراه نرم‌افزار متن باز^۱ مختص این بردها، امکان انجام گستره گوناگونی از پروژه‌های الکترونیکی را فراهم می‌آورد. این برد قابلیت اتصال به انواع ماژول‌ها و سنسورها در قالب

1 1. Open source

2 2. MPU6050: Micro processor unit 6050
3 3. MEMS: Micro-Electro Mechanical system
4 4. Drone
5 1. FIFO Buffer: First input first output buffer
6 2. DMP: Data management platform

جدول ۲. مشخصات واحد ریزپردازنده ۶۰۵۰ [۱۳]

Table 2. MPU6050 characteristics

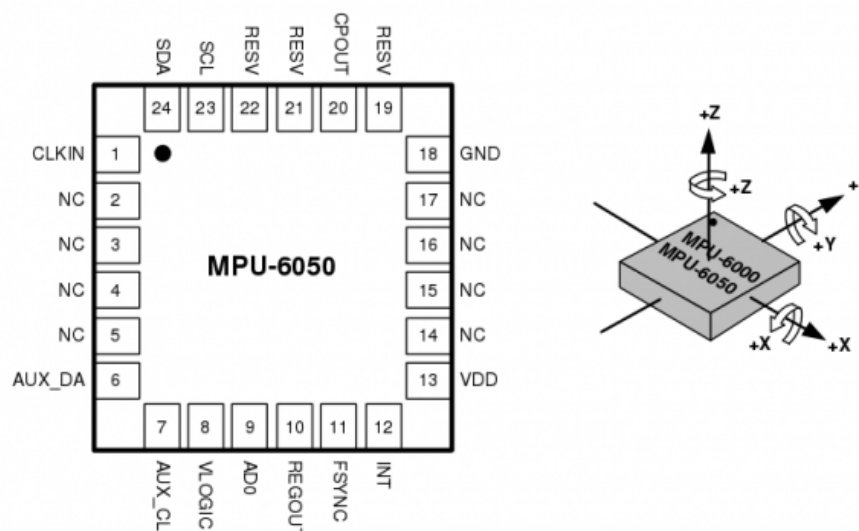
مشخصات	بازه ژيروسکوپ	حساسیت	نویز	بازه شتاب	حساسیت	ولتاژ کاری	ابعاد
واحد	(°/sec)	(LSB/°/sec)	dps/√Hz	(g)	LSB/g	V/Δ±	(mm)
واحد ریزپردازنده ۶۰۵۰	۲۵۰±	۱۳۱	۰/۰۰۵	۲±	۱۶۳۸۴	۳/۴۶-۲/۳۷۵	۰/۹×۴×۴
	۵۰۰±	۶۵/۵	۰/۰۰۵	۴±	۸۱۹۲		
	۱۰۰۰±	۳۲/۸	۰/۰۰۵	۶±	۴۰۹۶		
	۲۰۰۰±	۱۶/۴	۰/۰۰۵	۱۶±	۲۰۴۸		

همانطور که مشخص است بازه داده برداری شتاب سنج می تواند بر روی حالات $g(۱۶,۸,۴,۲) \pm$ ژيروسکوپ بر روی حالات $(°/sec) ۲۵۰, ۵۰۰, ۱۰۰۰, ۲۰۰۰ \pm$ تنظیم شود. با افزایش بازه، حساسیت داده برداری کاهش می یابد، به نحوی که بالاترین حساسیت در بازه $g \pm ۲$ برای شتاب سنج و $°/sec ۲۵۰ \pm$ برای ژيروسکوپ می باشد. معیار حساسیت این ماژول کم اهمیت ترین بیت^۱ می باشد. در توضیح این معیار می توان گفت تعداد کوچکترین بیت هایی را که یک واحد g یا یک درجه می شوند نشان می دهد. به عبارت بهتر کوچک ترین بیت چه مقدار کمترین داده را تشخیص و ذخیره می کند. بدیهی است هرچه LSB/g یا $LSB/°$ بالاتر باشد میزان حساسیت بیشتر است [۱۳]. تاکنون این ماژول بر روی بردهای الکترونیکی مختلفی نظیر مدل های شتاب سنج و ژيروسکوپ شماره ۲۵ و ۸۶ و ۵۲۱ در ترکیب با سایر سنسورها به منظور تولید واحد اندازه گیری اینرسی^۲ طراحی گردیده است. این بردها علاوه بر موارد بالا قابلیت تشخیص شوک های ناگهانی، سقوط آزاد و حرکات لرزشی را نیز دارا می باشند [۱۳]. در این پروژه از دو مدل ۵۲۱ و ۸۶ به دلیل سادگی و وسعت دسترسی و وجود کدهای نرم افزاری و اسناد کاربردی بر روی اینترنت استفاده شده است. برد شتاب سنج و ژيروسکوپ ۵۲۱ بسیار ساده تر و ارزان تر از مدل شتاب سنج و ژيروسکوپ ۸۶ است. دلیل کار با دو ماژول مقایسه عملکرد یک ماژول ساده و ارزان با ماژول پیشرفته تر و مقایسه عملکرد آنها بوده است. در ادامه به معرفی هریک این بردها می پردازیم.

3. LSB: Least Significant Bit
4. GY25, GY86, GY521
5. IMU: Inertial measurement unit

۲-۳- برد شتاب سنج و ژيروسکوپ ۵۲۱
این برد قابلیت تحمل شوک های شدید تا $g ۱۰۰۰۰$ را داراست. برای داده درجه آزادی یک تبدیل کننده آنالوگ به دیجیتال^۴ بر روی برد تعبیه شده است [۱۳]. مدل های اولیه این برد دارای خروجی دقیق تر از لحاظ نویز کمتر ($g/۰.۰۱ \pm$) بودند. متأسفانه تولیدات بعدی این برد با کیفیت تولید و طراحی ضعیف تری روانه بازار شدند. خروجی شتاب آنها نویز بسیار زیادی دارد ($g/۰.۵ \pm$) که امکان استفاده از ماژول را به حداقل می رساند. در سال ۲۰۱۶ یک دانشجوی مهندسی مکانیک علاقه مند به الکترونیک^۵ پی برد علت این اختلال استفاده از خازن با ظرفیت نامناسب در طراحی برد می باشد. وی دریافت شرکت سازنده برد در انتخاب یکی از خازن های سرامیکی (خازن شماره ۱۳) به جای استفاده از خازن با ظرفیت $nF ۱۰۰$ از خازنی با ظرفیت $nF ۲$ استفاده کرده است! که موجب اختلالات و نویز در خروجی شتاب شده است. راه حل در لحیم کاری خازن سرامیکی مضاعف به موازات خازن اولیه برای رسیدن به ظرفیتی در حدود $nF ۲$ و یا استفاده از مدل شتاب سنج و ژيروسکوپ دیگری است. مدل های مختلف بردهای خانواده واحد ریزپردازنده ۶۰۵۰ بین های متفاوتی دارا هستند که بین های تغذیه و ولتاژ کالکتور^۶ و زمین^۷ و داده سریال^۸ و کلاک سریال^۹ و اینترپت^{۱۰} جز ثابت آنها هستند. برد شتاب سنج و ژيروسکوپ ۵۲۱ علاوه بر بین های ذکر شده دارای

6. ADC: Analogue to Digital convertor
1. Taylor Schweitzer - Iowa State University
2. VCC: Voltage at the Common Collector
3. GND: Ground
4. SDA: Serial Data
5. SCL: Serial Clock
6. INT: Interrupt



شکل ۱. نقشه پین‌های چیپ واحد ریزپردازنده ۶۰۵۰ [۱۳]

Fig. 1. MPU6050 pin map

میکروکنترلر به همراه اطلاعات ساین و محتوای آن از طریق همگام سازی فریم به ماژول فرستاده می‌شود. به عبارتی این دو پین خطوط اعلان آمادگی ارسال و دریافت داده بین ماژول و میکروکنترلر هستند [۱۳].

۳- توسعه ماژول جمع آوری اطلاعات

جهت ساخت ماژول جمع آوری اطلاعات لازم است که نحوه ارتباط سنسورها با برد الکترونیکی بررسی شده و سپس عملکرد ماژول صحت‌سنجی شود.

۳-۱- پروتکل مدار مجتمع^۷

همانطور که در بحث‌های پیشین اشاره شد، ماژول واحد ریزپردازنده ۶۰۵۰ از طریق پروتکل مدار مجتمع با آردوینو مرتبط می‌شود. این پروتکل یک نوع راه ارتباطی بین قطعات الکترونیکی برای تبادل داده می‌باشد که در سال ۱۹۸۲ توسط شرکت نیمه هادی فیلیپس ابداع شد. این پروتکل امکان ارتباط چند اسلیو با چند مستر را به صورت همزمان^۸ تحت نرخ تبادل داده از ۱۰۰ Kbits/s تا ۴/۳ Mbits/s در سریع‌ترین حالت فراهم می‌آورد. ارتباط داده از طریق دو خط داده سریال و داده کلاک برقرار می‌شود که خط اول حاوی داده و خط دوم شامل کلاک داده است [۱۴].

پین‌های داده فعال^۱ و داده کمکی^۲ و کلاک کمکی^۳ نیز می‌باشد. بر روی برد رگولاتور تنظیم ولتاژ وجود دارد لذا هرچند برد دارای سطح ولتاژ ۳/۳V است اما این ولتاژ برای رابط داده مجتمع کم بوده و بهتر است از سطح ولتاژی ۵V استفاده شود.

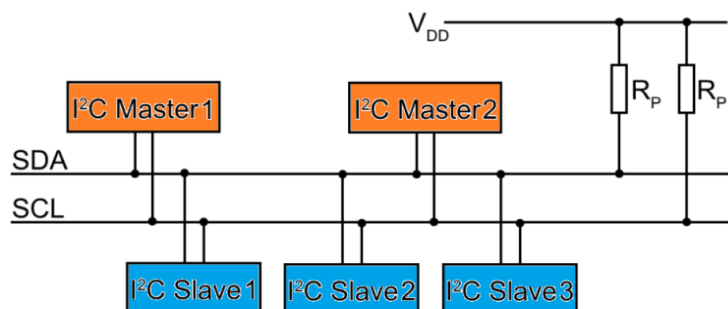
۳-۲- برد شتاب‌سنج وژیروسکوپ^۴

این برد علاوه بر واحد ریزپردازنده ۶۰۵۰ دارای چیپ سه محوره مغناطیس‌سنج اچ ام سی پانصد و هشتاد و هشت ال که قادر به سنجش میدان‌های مغناطیسی با دقت ۵ میلی گaus در بازه ± 8 گaus و نیز چیپ ام اس پنج هزار و یازده برای سنجش فشار بارومتريک در بازه ۱۲۰۰ mbar تا ۱۰ bar است که می‌توان از آن برای سنجش ارتفاع بر حسب فشار نیز استفاده کرد [۱۳].

این برد علاوه بر پین‌های ولتاژ رودی در کالکتور مشترک و ۳/۳V و زمین و کلاک سریال و داده سریال و اینترپیت دارای پین‌های همگام‌سازی فریم^۴ و داده آماده^۵ نیز می‌باشد. از طریق پین داده آماده حضور داده‌ها برای ارسال به میکروکنترلر اعلام می‌شود و دریافت هر بسته^۶ داده توسط

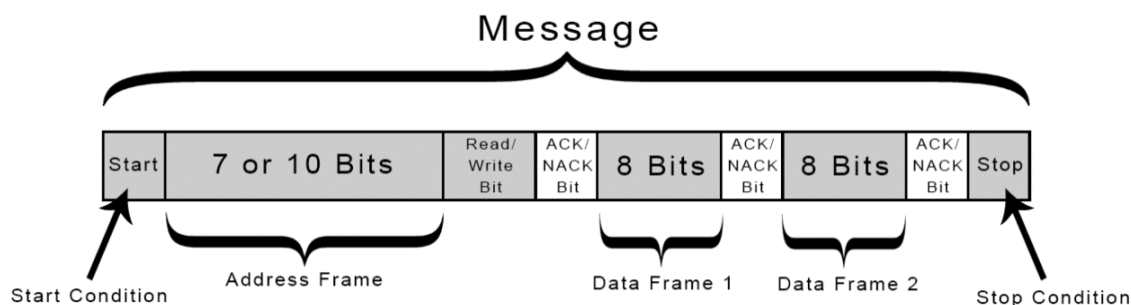
- 1 7. ADO: Active Data Object
- 2 8. XDA: Auxiliary Data
- 3 9. XCL: Auxiliary Clock
- 4 1. FSYNC: Frame Synchronization
- 5 2. DRDY: Data Ready
- 6 3. Packet

7 4. IIC: Inter-integrated Circuit
8 5. Synchronous



شکل ۲. ارتباط مستر و اسلیو تحت ارتباط مدار مجتمع [۱۴]

Fig. 2. Slave and Master communication via I2C



شکل ۳. ساختار بسته پیام منتقل شده با پروتکل

Fig. 3. I2C message structure

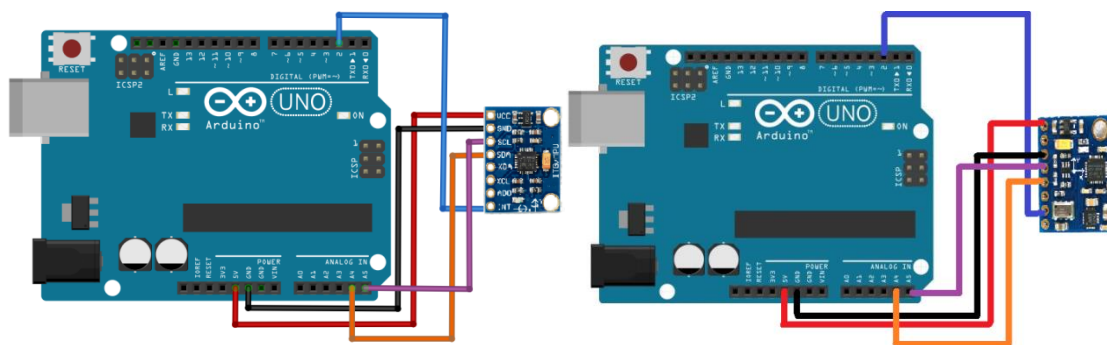
پین شماره ۲ پورت‌های دیجیتال برد آردوینو متصل می‌شود. اتصال این پین ضروری نیست، اما در صورت نیاز به وقفه و استفاده از آن می‌بایست متصل شود. برای مثال در صورت استفاده از کتابخانه مربوطه ارتباط مدار مجتمع آردوینو اتصال ضروری است. چراکه در این کتابخانه از بافر خروج به ترتیب ورود ماژول برای ایجاد سیگنال وقفه برای اطلاع‌رسانی حضور دیتا جدید در بافر به آردوینو استفاده می‌شود. از پین داده فعال ماژول نیز در مواقعی که نیاز به استفاده از دو واحد ریزپردازنده ۶۰۵۰ باشد می‌توان بهره برد، به این صورت که داده فعال یکی از این ماژول‌ها را به سطح ولتاژ زمین برده و دیگری را ۳/۳۷ قرار می‌دهیم. گفتنی است برای اینکار باید با توجه به دیتاشیت آدرس مدار مجتمع بیت مورد نظر را بر روی ۰×۶۸ و ۰×۶۹ رجیستر کرد. در صورت نیاز به استفاده از ماژول‌های بیشتر می‌توان از مالتیپلکسر کمک گرفت. پین‌های داده کمکی و کلاک کمکی بر روی برد شتاب‌سنج وژیروسکوپ ۵۲۱ برای قرار دادن برد در حالت مستر برای ایجاد ارتباط مدار

نحوه انتقال داده به این صورت است که هر پیام شامل دو بخش شروع و پایان در ابتدا و انتها برای تغییر خط دیتا بین حالت بالا و پایین، بیت‌های تایید انتقال داده، بیت خواندن/نوشتن، فریم داده و بیت‌های آدرس‌دهی می‌باشد.

۳-۲- ارتباط مدار مجتمع آردوینو با واحد ریزپردازنده ۶۰۵۰

ارتباط مدار مجتمع آردوینو یونو از طریق پین‌های داده سریال و کلاک سریال می‌باشد که در قسمت آنالوگ برد قرار دارند. برای برقراری ارتباط بین واحد ریزپردازنده ۶۰۵۰ و برد آردوینو یونو می‌بایست مدار را مطابق شکل زیر بست.

برای تغذیه ماژول پین ولتاژ کالکتور آنرا به پین ۵ ولت آردوینو و زمین‌ها را نیز به یکدیگر متصل می‌کنیم. ارتباط دیتا هم بر روی خطوط داده سریال و کلاک داده خواهد بود. برای استفاده از وقفه نیز پین اینترپت ماژول به



شکل ۴. مدار ارتباط شتاب سنج و ژيروسکوپ ۵۲۱ (راست) و شتاب سنج و ژيروسکوپ ۸۶ (چپ) با برد آردوینو یونو

Fig. 4. GY521 (right) and GY86 (left) Arduino connection

۳-۳- ارزیابی سنسور ها

برای اطمینان از صحت عملکرد سنسور می‌بایست خروجی سنسور با مرجعی قابل اطمینان مقایسه شود. سنسورهای گوشی هوشمند خروجی بسیار دقیق و قابل اطمینانی دارند. در این راستا خروجی شتاب و ژيروسکوپ مازول‌های شتاب سنج و ژيروسکوپ ۵۲۱ و شتاب سنج و ژيروسکوپ ۸۶ را با سنسور مدل کی تو اچ اچ^۱ محصول شرکت اس تی مورد استفاده در گوشی‌های سامسونگ ارزیابی شد. علت انتخاب این تلفن‌های هوشمند دقت بالای سنسور آنها است. در راستای بدست آوردن اطلاعات دقیق تر این سنسور با شرکت اس تی ارتباط برقرار شد. طبق گفته این شرکت نام تجاری این محصول لیس تو اچ اچ توعلو^۲ می باشد که مشخصات مکانیکی و الکتریکی آن در جداول ۳ و ۴ آورده شده‌است. نحوه انجام آزمایش به این شکل بوده‌است که هر دو مازول به همراه گوشی تلفن همراه در کنار یکدیگر بر روی برد قرار می‌گیرند. پیش از شروع سیستم مختصات مازول‌ها باید به موازات محورهای مختصاتی اصلی قرار گیرد و عمل کالیبراسیون انجام شود. سپس در شرایط مشابه و بازه انتخابی نمونه برداری ۲g (در قسمت بعد اثبات می‌شود که مازول در این بازه بهترین عملکرد را دارد) با فرکانس نمونه‌برداری یکسان ۱۰۰Hz در قسمت میانی کنسول وسط خودرو با کمک یک هولدر (برای کاهش لرزش ها و نویز) بر روی خودرو نصب می‌شوند و نمونه‌برداری توسط دو سیستم لپ تاپ و یک کد به صورت همزمان اجرا می‌گردد و به موازات، سنسور گوشی تلفن همراه شروع به داده برداری می‌کند. بعد از انجام آزمایش داده‌ها بر روی یک چارت قرار گرفته

جدول ۳. مشخصات مکانیکی سنسور گوشی [۱۵]

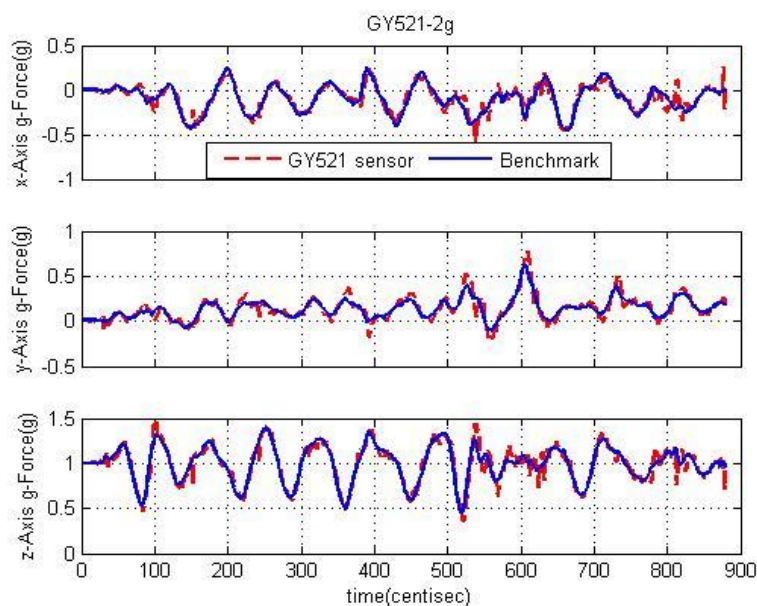
Table 3. Phone sensor mechanical characteristics

پارامتر	شرایط تست	مقدار	واحد
بازه اندازه گیری		$\pm 2, \pm 4, \pm 8$	g
حساسیت		$\pm 2g$	mg/digit
		$\pm 4g$	mg/digit
		$\pm 8g$	mg/digit
تغییر حساسیت به دما		± 0.1	%/°C
دقت انحراف معیار سطح صفر g	۲۵°C	± 30	mg
تغییر سطح صفر g به دما		± 0.25	mg/°C

مجتمع و کنترل یک برد دیگر (به عنوان مثال مغناطیس سنج) به صورت اسلیو طراحی شده‌اند [۱۳].

برای ارتباط مدار مجتمع بین آردوینو و مازول بهتر است از سیم‌های کوتاه برای دو خط سریال داده و سریال کلاک استفاده شود. این کار برای جلوگیری از ایجاد اختلال و نویز ناشی از اثرات آنتن به علت استفاده از سیم‌های بلند است. هم چنین توصیه می‌شود از مقاومت‌های بالاکش خارجی در مدار استفاده شود تا تداخل نویز در ارتباط تا حد ممکن کاهش یابد، هرچند درگاه مدار مجتمع بردها دارای مقاومت‌های داخلی این چنین می‌باشد. نحوه مداربندی می‌تواند به صورت زیر باشد. تغذیه مدار بهتر است به جای آداپتور با باتری تامین شود تا اثرات نویز جریان ورودی وجود نداشته باشد.

1 1. K2HH
2 1. LIS2HH12



شکل ۵. خروجی شتاب شتاب سنج و ژيروسکوپ مدل ۵۲۱ بازه ۲ g

Fig. 5. GY521 acceleration data 2g

جدول ۴. مشخصات الکتریکی سنسور گوشی [۱۵]

Table 4. Phone sensor electrical characteristics

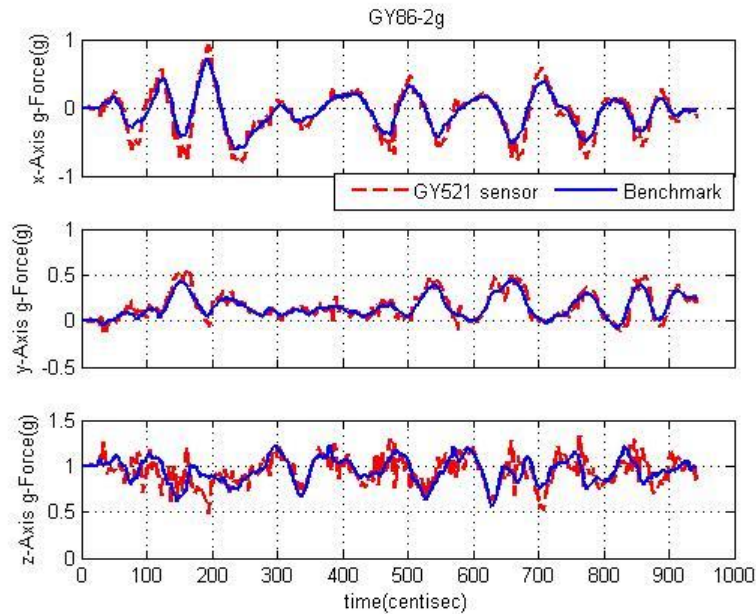
پارامتر	شرایط تست	مقدار	واحد
ولتاژ تامین		$1/71 < V < 3/6$	V
ولتاژ تامین پین های صفر و یک		$1/71 < V < 3/7$	V
	۸۰۰-۱۰۰۰ Hz	۱۸۰	μA
جریان مصرفی در حالت روشن	۵۰ Hz	۱۱۰	μA
	۱۰ Hz	۵۰	μA
جریان مصرفی در حالت خاموش		۵	μA
ولتاژ ورودی بالا		$1/368 < V$	V
ولتاژ ورودی پایین		$V < 0/74$	V
زمان راه اندازی		۲۰	ms
بازه دمای کاری		$-40 < T < +85$	$^{\circ}C$

و با هم سینکرون شده‌اند. نتایج در شکل های ۵ و ۶ قابل مشاهده است. ذکر این نکته ضروری است که هدف از این مقایسه بررسی دقت عملکرد شتابسنجی سنسورها در سه موضوع تعقیب مرجع (سنسور گوشی تلفن همراه)، میزان نویز و تعداد داده های پرت بوده است و مسیر حرکت و سایر شرایط محیطی به عنوان پارامتر غیر موثر در نظر گرفته شده‌اند.

لطفا توجه داشته باشید علت استفاده از این دو مازول سادگی، فراوانی بسیار در بازار و مقرون به صرفه بودن آنها است. مازول های بسیار دقیق تر نظیر مدل های ۹۵۳ و ۶۱ با امکانات جانبی بسیار نظیر هسته های مبتنی بر معماری آرم و خروجی های فیلتر شده وجود دارند که معرفی آنها از چارچوب این بحث خارج است. برای دریافت داده از این دو مازول از کتابخانه نوشته شده برای واحد ریزپردازنده ۶۰۵۰ توسط جف روبرگ^۱ استفاده شده است. داده های مازول توسط کدهای این کتابخانه با فیلتر پایین گذر فیلتر می گردند هر چند می توان برای دریافت خروجی بهتر از کتابخانه هایی که به طور ویژه برای فیلتر کردن داده ها تعریف شده اند استفاده نمود.

۳-۳-۱- شتاب سنج و ژيروسکوپ مدل ۵۲۱ خروجی شتاب -بازه ۲g- فرکانس ۱۰۰Hz

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می شود خروجی شتاب سنسور شتاب سنج و ژيروسکوپ ۵۲۱ در بازه ۲g بیشترین تعداد داده غیر قابل قبول را در محور X داشته است. محور Z نیز دارای تعدادی داده غیر قابل قبول با اختلاف مقدار کمتری است. حال آنکه محور Y حداقل مقدار داده غیر قابل قبول را دارد. اختلاف مقدار داده های غیر قابل قبول با مقدار سایر داده ها در محور X بیش از دو محور دیگر است. در محور Y سنسور دارای لختی به



شکل ۶. خروجی شتاب شتاب‌سنج و ژيروسکوپ مدل ۸۶ بازه ۲ g

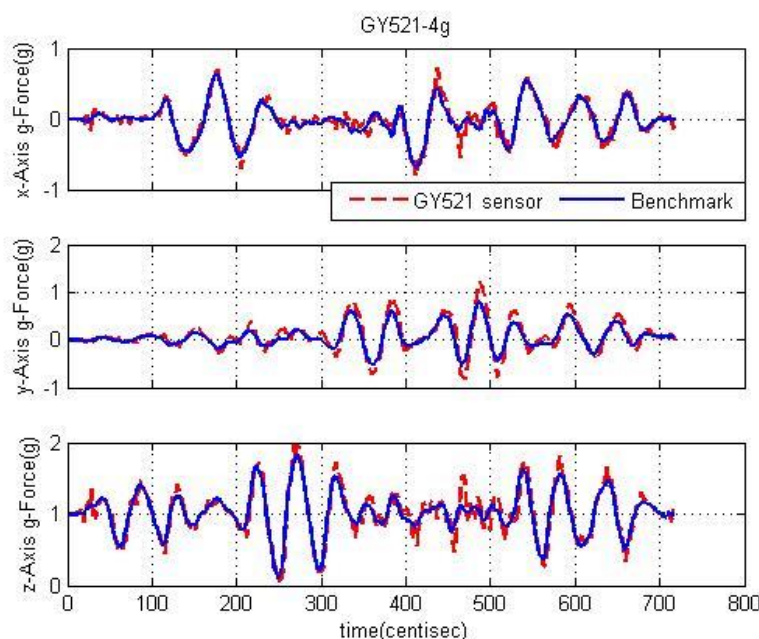
Fig. 6. GY86 acceleration data 2g

واحد ریزپردازنده ۶۰۵۰ به بهترین نحو عمل می‌کند و خروجی ژيروسکوپ هردو سنسور قابل قبول است لذا از آوردن نمودار ژيروسکوپ مدل ۸۶ صرف‌نظر شد. هرچند که ژيروسکوپ‌ها بسیار در معرض دریافت هستند اما این مورد برای شتاب‌سنج و ژيروسکوپ ۶۰۵۰ رخ نداد. خروجی شتاب دارای نویز و پالس‌های خطاست که می‌بایست با فیلتر مناسب پردازش شده و برطرف شوند. از طرفی یکی از علت‌های نویز می‌تواند حساسیت بالای سیستم باشد. با افزایش حساسیت، نویز هم به تناسب افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان با افزایش بازه اندازه‌گیری سنسور، حساسیت را پایین آورده و نتیجتاً به کاهش نویز سیستم کمک کرد. با افزایش بازه داده‌برداری مقدار نویز کاهش می‌یابد اما معضل جدید افزایش دامنه داده‌های غیر قابل قبول است. پس برای کنترل همزمان نویز و داده‌های غیر قابل قبول می‌بایست بازه متعادلی بین این دو را لحاظ نمود از اینرو به نظر می‌رسد بازه ۴g برای داده‌برداری مناسب باشد. برای اطمینان از این موضوع می‌بایست از مازول در سایر بازه‌ها نیز خروجی گرفت و عملکرد آنرا در این بازه‌ها آزمایش نمود. بنابر این مطابق آزمایش قبل مازول مدل ۵۲۱ را در کنار گوشی تلفن همراه بر روی یک هولدر سوار می‌کنیم (به منظور کاهش لرزش و نویزهای واردشده) و در قسمت میانی کنسول وسط خودرو قرار می‌دهیم و به صورت همزمان با فرکانس نمونه برداری ۱۰۰Hz شروع به برداشت خروجی‌های

مقداری در حدود ۰/۱g نسبت به مرجع است. این مقدار لختی در نقاط عطف نمودار مشخص است. درحالی که لختی دو محور دیگر بسیار ناچیز و قابل قبول است. از لحاظ تعقیب داده، سنسور در هر سه محور عملکرد صحیحی داشته‌است. میزان نویز هر سه محور قابل چشم پوشی است. در مجموع می‌توان ادعا کرد عملکرد سنسور رضایت‌بخش بوده‌است.

۳-۳-۲- شتاب‌سنج و ژيروسکوپ مدل ۸۶- خروجی شتاب -بازه ۲g- فرکانس ۱۰۰Hz

براساس شکل ۶ خروجی شتاب سنسور شتاب‌سنج و ژيروسکوپ ۸۶ در بازه ۲g در محورهای Y و Z بیشترین تعداد داده غیر قابل قبول را داشته است. محور X بیشترین مقدار لختی را به نسبت دو محور دیگر دارد به نحوی که این مقدار حتی به ۰/۳g نیز می‌رسد. هر دو محور دیگر نیز دارای مقادیری لختی هستند که در نقاط عطف نمودارشان قابل رویت است. خروجی سنسور در دو محور Y و Z بسیار نویز دارد. تعقیب مرجع در محور Z به بدترین شکل ممکن رخ داده است. در مجموع می‌توان گفت خروج سنسور شتاب‌سنج و ژيروسکوپ مدل ۸۶ کاملاً نامناسب و غیر قابل اعتماد است. همانطور که از شکل های ۵ و ۶ مشخص است، سنسور مدل ۵۲۱ تعقیب شتاب بهتر و دقیق‌تری نسبت به سنسور مدل ۸۶ دارد. ژيروسکوپ



شکل ۷. خروجی شتاب شتابسنج و ژيروسکوپ مدل ۵۲۱ بازه ۴ g

Fig. 7. GY521 acceleration data 4g

در محور X بیش از دو محور دیگر است. در محور Y سنسور دارای لختی به مقداری در حدود $0.4g$ نسبت به مرجع است که بیانگر افزایش لختی نسبت به بازه $2g$ است. این مقدار لختی در نقاط عطف نمودار مشخص است. درحالی که لختی دو محور دیگر نیز افزایش داشته است اما هم چنان نسبت به محور Y کمتر می‌باشند. از لحاظ تعقیب داده، سنسور در هر سه محور عملکرد صحیحی داشته است. میزان نویز هر سه محور به ویژه محور X اندکی افزایش داشته‌است.

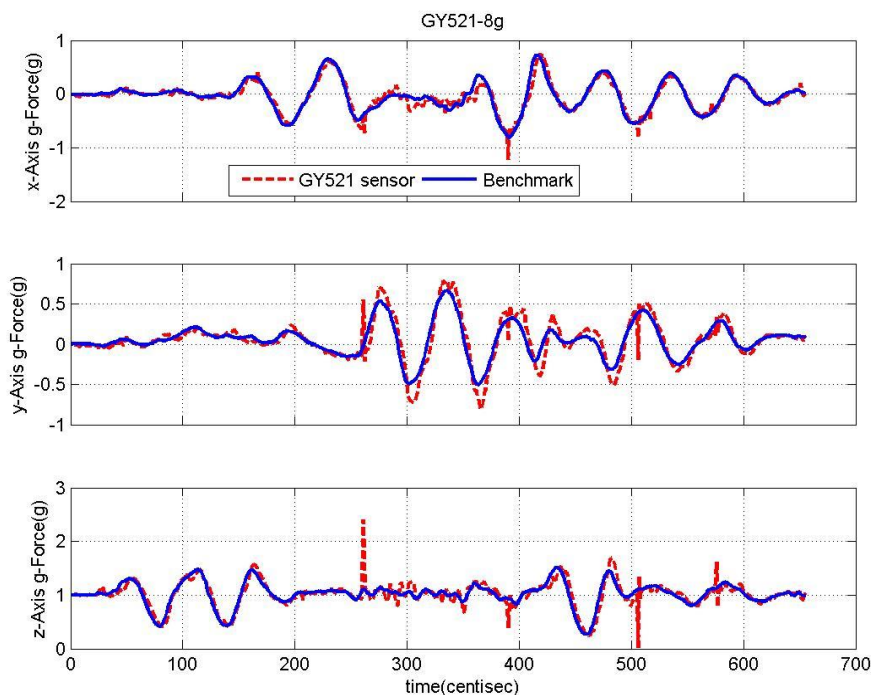
۳-۳-۴ - شتابسنج و ژيروسکوپ مدل ۵۲۱ - خروجی شتاب -بازه ۸ g - فرکانس ۱۰۰ Hz

مطابق شکل ۸ مشاهده می‌شود خروجی شتاب ماژول مدل ۵۲۱ در بازه $8g$ تعداد داده‌های غیر قابل قبول بیشتری نسبت به بازه‌های قبل دارد. این در حالی است که اختلاف مقدار این داده‌ها نسبت به مقدار سایر داده‌ها بسیار افزایش داشته و در مقایسه با دو بازه قبل رشد زیادی داشته است. سنسور همچنان به خوبی مرجع را تعقیب می‌کند و میزان نویز قابل اغماض است. لختی سیستم همچنان در محور Y بیشترین میزان را دارد هر چند نسبت به

شتاب می‌کنیم. پیش از شروع داده‌برداری می‌بایست ماژول کالیبره شود. دقت کنید که در اینجا هدف صرفاً بررسی عملکرد ماژول به لحاظ تعقیب مرجع، تعداد داده پرت و میزان نویز در بازه‌های شتاب مورد بحث است، لذا متغیرهایی نظیر مسیر انجام آزمایش و یا نوع خودرو مورد مطالعه و بررسی نیستند. خاطر نشان می‌گردد خروجی سرعت زاویه ای ژيروسکوپ در این سه بازه نیز عملکرد بسیار مطلوبی دارد. بنابراین از مقایسه آنها صرف‌نظر گردید. در ادامه خروجی شتاب سه محور ماژول مدل ۵۲۱ در بازه‌های $16g$ و $8g$ و $4g$ آورده شده‌است.

۳-۳-۳ - شتابسنج و ژيروسکوپ مدل ۵۲۱ - خروجی شتاب -بازه ۴ g - فرکانس ۱۰۰ Hz

در شکل ۷ خروجی شتاب سنسور مدل ۵۲۱ در بازه $4g$ بیشترین تعداد داده غیر قابل قبول را در محور X داشته است. تعداد داده غیر قابل قبول به نسبت بازه $2g$ کمتر است. محور Z نیز دارای تعدادی داده غیر قابل قبول با اختلاف مقدار کمتری است. حال آنکه محور Y حداقل مقدار داده غیر قابل قبول را دارد. اختلاف مقدار داده‌های غیر قابل قبول با مقدار سایر داده‌ها



شکل ۸. خروجی شتاب شتاب‌سنج و ژيروسکوپ مدل ۵۲۱ بازه ۸ g

Fig. 8. GY521 acceleration data 8g

جدول ۵. میانگین مجذور خطای بین نتایج حاصل از ماژول و حالت معیار

Table 5. GY521 and GY86 Acc MSE based on Reference

ماژول					مدل ۵۲۱
مدل ۸۶					
شتاب در محور					
۲g	۲g	۴g	۸g	۱۶g	
۰/۱۱۹	۰/۰۵۹	۰/۰۷۶	۰/۰۸۷	۰/۰۵۴	x
۰/۰۵۸	۰/۰۵۳	۰/۱۲۶	۰/۱۰۳	۰/۰۶۸	y
۰/۱۲۸	۰/۰۶۷	۰/۱۰۶	۰/۱۱۷	۰/۰۸۱	z

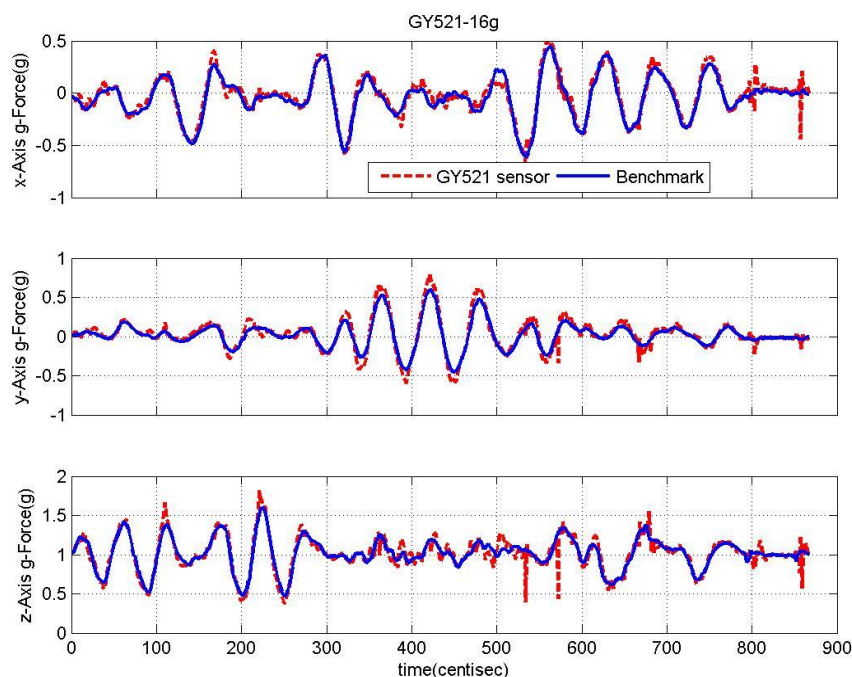
حالت ۴g مقدار لختی کاهش داشته‌است.

۳-۳-۵- شتاب‌سنج و ژيروسکوپ مدل ۵۲۱ - خروجی شتاب - بازه ۱۶g - فرکانس ۱۰۰ Hz

همانطور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود خروجی شتاب ماژول مدل ۵۲۱ در بازه ۱۶g دارای تعدادی داده غیر قابل قبول در تمامی محورها است. هرچند اختلاف مقدار این داده‌ها با سایرین مقداری کاهش نسبت به حالت ۸g را داشته است اما همچنان وجود تعداد زیاد داده غیر قابل قبول در محورهای X و Z دقت خروجی را پایین می‌آورد. مانند حالت‌های قبلی بیشترین مقدار لختی متعلق به محور Y می‌باشد. مقدار این لختی از دو حالت ۴g و ۸g کمتر است اما با مقدار لختی در حالت ۲g مشابهت دارد. نویز سیستم همچنان در وضعیت مناسبی می‌باشد.

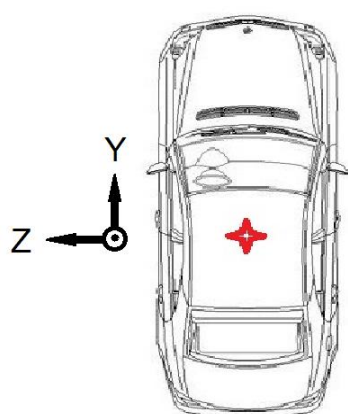
در جدول ۵ میزان میانگین مجذور خطای بین نتایج حاصل از ماژول مدل ۵۲۱ و حالت معیار مقایسه شده‌است. در نهایت با توجه به آنچه بحث شد می‌توان گفت ۲g بازه مناسبی برای داده برداری به لحاظ تعداد داده غیر

قابل قبول کمتر با مقدار اختلاف کمتر و نیز لختی کمتر نسبت به مرجع است؛ با این اطمینان که شتاب خودرو همواره در این بازه قرار دارد. در بخش بعد به بررسی عملکرد سیستم بر روی خودرو و تعیین معیارهای مناسب اولیه برای قضاوت رفتار رانندگی خواهیم پرداخت.



شکل ۹. خروجی شتاب شتاب‌سنج و زیروسکوپ مدل ۵۲۱ بازه ۱۶ g

Fig. 9. GY521 acceleration data 16g



شکل ۱۰. مکان و جهت مناسب قرارگیری سنسور

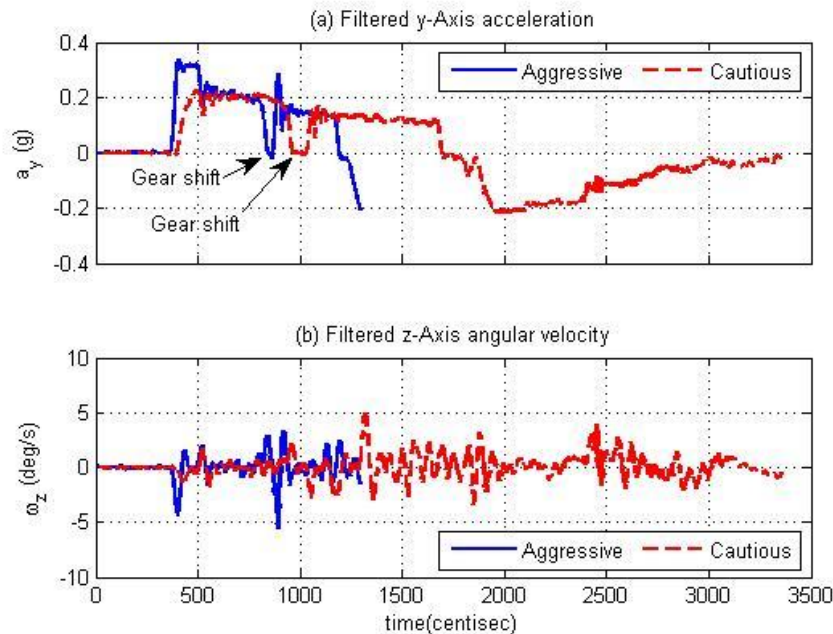
Fig. 10. Proper position and direction of data logger

بود. بنابراین با در نظر گرفتن خودرو پژو ۴۰۵ به عنوان نمونه ای از اکثریت خودروهای کشور و با در نظر گرفتن مشابهت کلی خودروهای تولید داخل به لحاظ استفاده از موتور تیوفایو و نیز شتاب مناسب این خودرو اقدام به انتخاب آن کردیم. مسیر انجام آزمایش جاده آسفالتی برون شهری ۳ سال ساخت

۴- آزمون بر روی خودرو

در این بخش با قراردادی دستگاه درون خودرو به انجام آزمایشاتی جهت دستیابی به اطلاعات رانندگی فرد مورد مطالعه و نهایتاً تعیین معیارهایی بر اساس رفتار رانندگی وی می‌پردازیم. هدف از انجام این آزمایشات ترسیم چهارچوبی برای رانندگی ایمن و رسیدن به معیاری برای قضاوت سایر رانندگان می‌باشد. مطابق شکل ۱۰ بهترین مکان برای قرارگیری سنسور وسط کنسول میانی خودرو است، این نقطه به مرکز هندسی خودرو نزدیک‌تر بوده و محاسبات داده‌برداری را از لحاظ تبدیل و انتقال دستگاه مختصات بی‌نیاز می‌کند.

برای کاهش تاثیر ارتعاشات موتور خودرو و فیلتر آنها از خروجی سنسور بهتر است از یک دمپر برای دفع نوسانات استفاده شود. در این پروژه از هولدر گوسی همراه برای این کار استفاده شده‌است. روند انجام آزمایش به این صورت بوده‌است که یک فرد برای انجام ۶ آزمایش دو مرحله‌ای انتخاب شده‌است. فرد مورد مطالعه مرد جوان دارای ۲۴ سال سن و تجربه ۶ سال رانندگی روزانه است. خودروی مورد استفاده پژو ۴۰۵ کاملاً سالم و با کارکرد کم می‌باشد. مطمئناً نوع خودرو در نتایج آزمایشات بی‌تاثیر نخواهد



شکل ۱۱. معیار شتابگیری (الف) شتاب محور y (ب) سرعت زاویه ای محور z در دو حالت با احتیاط (قرمز) و حادثه آفرین (آبی)

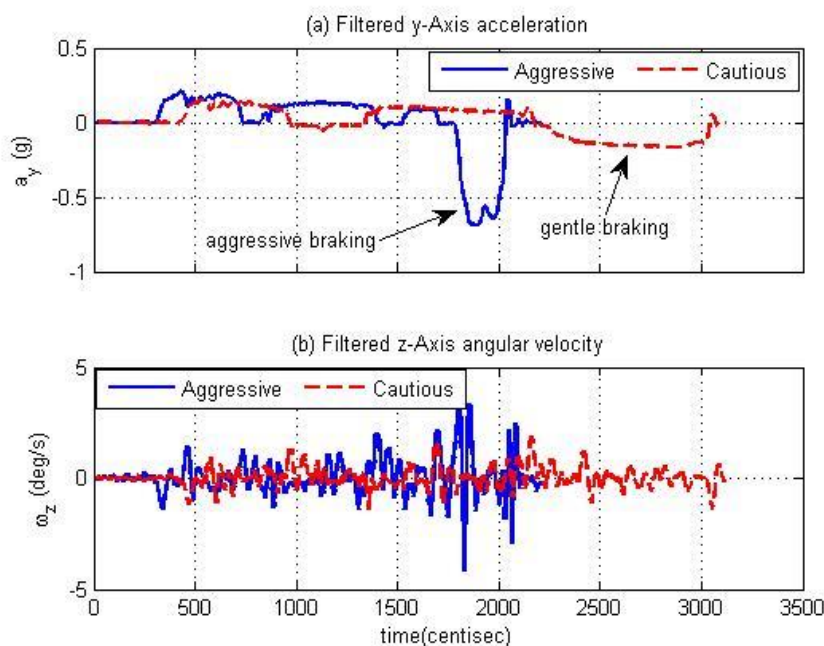
Fig. 11. (a) Y-axis acceleration (b) Z-axis angular speed – cautious (red) aggressive (blue)

۴-۱- شتابگیری در مسیر مستقیم

سناریو طراحی شده در این آزمایش به این صورت بوده است که پس از راه اندازی سیستم برداشت اطلاعات مطابق آنچه در بخش ۴ توضیح داده شد، از راننده خواسته شده خودرو را از حالت سکون به سرعت 60 km/h که حداکثر سرعت مجاز در خیابان های شهری است برساند. این آزمایش در دو حالت انجام گرفته است. در حالت اول از وی خواسته شده با توجه به درک تجربی خود، روند شتابگیری را با رعایت احتیاط انجام دهد و در حالت دوم با توجه به درک تجربی خود، خودرو را با شتاب خطر آفرین از سکون به سرعت مد نظر برساند.

همانطور که از شکل ۱۱-الف مشخص است حداکثر شتاب محور y در حالت احتیاط 0.23 g می باشد در حالی که حالت حادثه آفرین حداکثر شتاب 0.34 g دارد بیانگر اختلاف حدوداً ۱ متر بر مجذور ثانیه است. بیشترین شتاب در هر دو حالت در ابتدای حرکت با دنده یک اتفاق افتاده است و با تعویض دنده کاهش شتاب تا مقدار زیر صفر رخ داده است. شتابگیری پس از اعمال دومین دنده در هر دو حالت به مقدار حداکثر اول نزدیک شده است و ادامه حرکت با شتابهایی به مراتب کمتر بوده است. همانطور که از شکل

بدون وجود دست انداز و سرعت گیر و بسیار کم تردد انتخاب شده است. زمان انجام آزمایشات در طول روز و در شرایط آب و هوایی مناسب بوده است. پیش از شروع هر آزمایش لازم است سیستم راه اندازی اولیه و با دستگاه مختصات اصلی کالیبره شود. ضروری است سیستم قبل از حرکت بر روی سطحی صاف قرار گیرد تا انحراف های محورها برابر صفر باشد. هر آزمایش شامل دو مرحله می باشد. مرحله اول اجرای عمل خواسته شده با رعایت احتیاط و مرحله دوم انجام همان عمل به صورت خطر آفرین می باشد. نحوه انجام این دو مرحله آزمایش وابسته به صلاح دید خود راننده بوده است. برای دستیابی به مدل رفتار رانندگی دو متغیر شتاب و سرعت زاویه ای اهمیت بیشتری دارند بنابراین در این پروژه از این دو متغیر برای تحلیل رفتار راننده استفاده شده است. شرایط حاکم بر رانندگی تاثیر بسیاری در رفتار راننده دارد لذا سعی شده است داده ها در شرایطی با لحاظ خونسردی و آرامش راننده ثبت شود. برای ترسیم مدل رانندگی انجام شش عمل در دو وضعیت محتاطانه و حادثه ساز که در ذیل آورده شده است به عنوان معیارهایی برای رفتار راننده انتخاب شده است. داده های خروجی به صورت نمودار در قسمت های بعد آورده شده است.



شکل ۱۲. معیار ترمزگیری: (الف) شتاب محور y (ب) سرعت زاویه ای محور z در دو حالت با احتیاط (قرمز) و حادثه آفرین (آبی)

Fig. 12. (a) Y-axis deceleration (b) Z-axis angular speed – cautious (red) aggressive (blue)

مطابق شکل ۱۲-الف قسمت ابتدای حرکت مربوط به شتابگیری خودرو برای رسیدن به سرعت مناسب است که نیازی به توضیح ندارد. در ادامه حرکت با اعمال ترمز شدید مقدار شتاب منفی راستای y به $-0.7g$ نزدیک شده است. این در حالی است که با اعمال آرام ترمز شتاب حدودا به $-0.2g$ رسیده است که نشان دهنده اختلاف $0.5g$ بین دو حالت است.

همانطور که از شکل ۱۲-ب پیداست با اعمال ترمز شدید مقدار سرعت زاویه ای محور z تا $3/5$ درجه بر ثانیه افزایش می یابد که ناشی از پایین آمدن جلوی خودرو است. بلافاصله بعد از رهاکردن ترمز و ایست کامل، قسمت جلوی خودرو در اثر واکنش سیستم تعلیق بالا می آید که منجر به ورود سرعت زاویه ای به مقادیر منفی شده است. این در حالی است که با ترمزگیری آرام تغییری در روند ثبت داده های ژيروسکوپ در محور z داده نشده است.

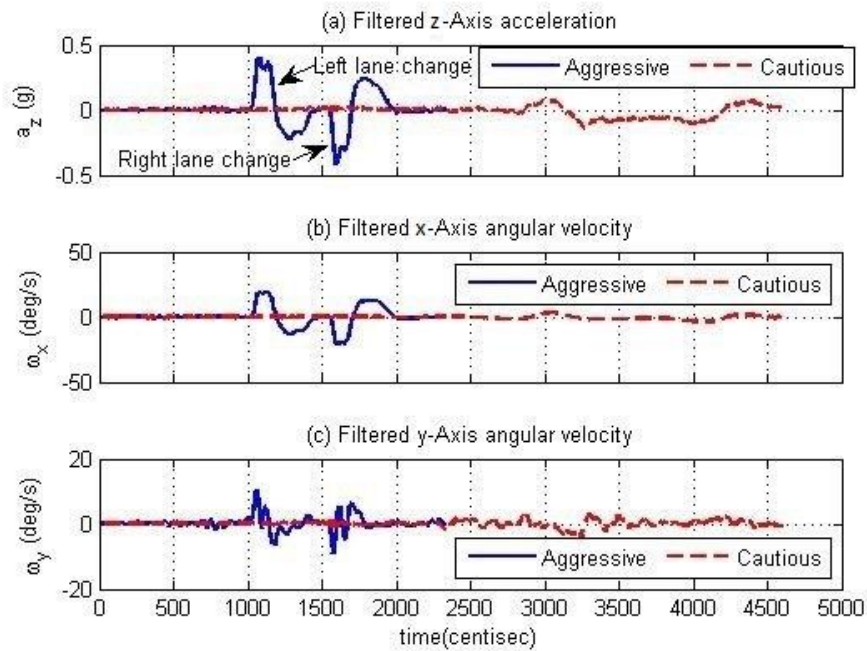
۴-۳- تغییر خط

سناریو طراحی شده در این آزمایش به این صورت بوده است که پس از راهاندازی سیستم برداشت اطلاعات مطابق آنچه در بخش ۴ توضیح داده شد، از راننده خواسته شده پس از رسیدن به سرعت یکنواخت 60 km/h در

۱۱-ب پیداست در ابتدای هر مرحله شتابگیری در حالت سریع در بازه زمانی که شتاب به حداکثر مقدار می رسد سرعت زاویه ای ژيروسکوپ محور z به حداقل مقدار خود نزدیک می شود. این بازه زمانی همانند نمودار شتاب دقیقا بلافاصله بعد از رهاشدن کلاچ رخ می دهد. علت این تغییر ناگهانی شتاب زاویه ای بالا آمدن قسمت جلوی خودرو می باشد. مینیمم مقدار در دومین دنده رخ می دهد.

۴-۲- ترمزگیری

سناریو طراحی شده در این آزمایش به این صورت بوده است که پس از راهاندازی سیستم برداشت اطلاعات مطابق آنچه در بخش ۴ توضیح داده شد، راننده خودرو را به حرکت درآورده و به سرعت 60 km/h که حد مجاز رانندگی در خیابان های شهری است رسانده است. در حالت اول از وی درخواست شده با توجه به درک تجربی خود، محتاطانه عمل ترمزگیری انجام شود تا مادامی که خودرو به حالت ایستایی برسد. در حالت دوم از وی خواسته شده روند ترمزگیری خودرو را به نحوی انجام دهد که با توجه به شناخت تجربی وی در صورت انجام گرفتن در معابر شلوغ، منجر به حادثه گردد.



شکل ۱۳. معیار تغییر خط (الف) شتاب محور z (ب) سرعت زاویه‌ای محور x (ج) سرعت زاویه‌ای محور y دو حالت با احتیاط (قرمز) و حادثه‌آفرین (آبی)

Fig. 13. (a) Z-axis lane change acceleration (b) X-axis angular speed (c) Y-axis angular speed – cautious (red) aggressive (blue)

راه‌اندازی سیستم برداشت اطلاعات مطابق آنچه در بخش ۴ توضیح داده شد، از راننده خواسته شد پس از رسیدن خودرو به سرعت یکنواخت مجاز (در اینجا به دلیل خطرناک بودن نوع حرکت، به جای سرعت 60 km/h سرعت 30 km/h به عنوان سرعت آزمایش انتخاب گردید) در دو حالت محتاطانه و خطرآفرین بنا بر تجربه خود راننده، اقدام به گردش به سمت چپ در مسیر خیابان فرعی نماید.

همانطور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود در حالت گردش به چپ سریع شتاب محور z به $0.5g$ رسیده‌است. در صورتی که در حالت آرام حداکثر مقدار $0.2g$ می‌باشد. در حالت گردش به چپ سریع مقدار خروجی ژيروسکوپ محور x به 50 درجه بر ثانیه رسیده‌است. در صورتی که در حالت آرام حداکثر مقدار 30 درجه بر ثانیه است.

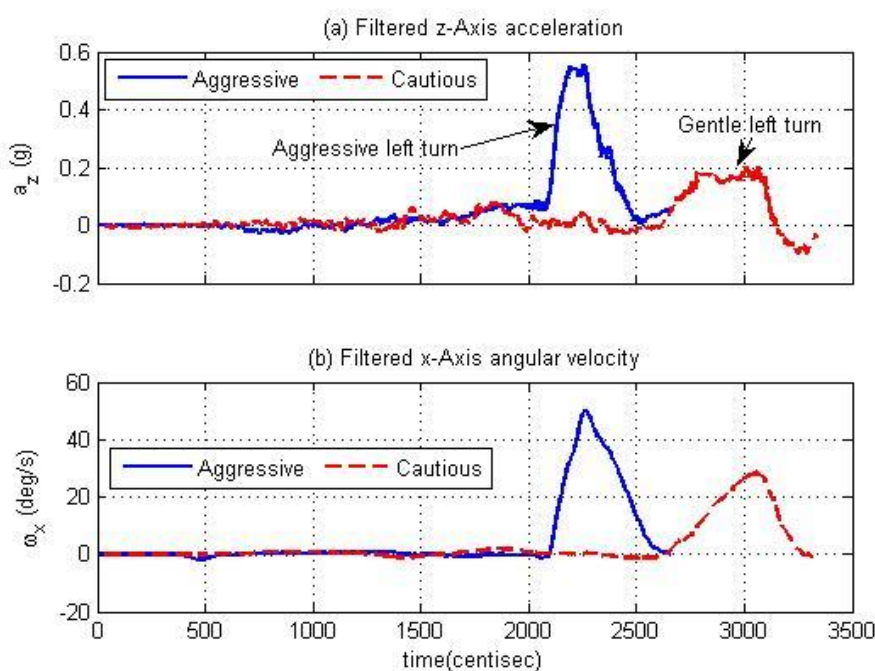
۴-۵- گردش به راست

سناریو طراحی شده در این آزمایش به این صورت بوده است که پس از راه‌اندازی سیستم برداشت اطلاعات مطابق آنچه در بخش ۴ توضیح داده شد، از راننده خواسته شد پس از رسیدن خودرو به سرعت یکنواخت مجاز (در

دو حالت محتاطانه و خطرآفرین، با توجه به درک تجربی خود، ابتدا در جهت چپ به راست و سپس در جهت راست به چپ روند تغییر خط را انجام دهد. همانطور که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود در حالت سریع مقدار شتاب محور z با اولین تغییر خط به چپ تا $0.4g$ تغییر داشته‌است. در تغییر خط دوم که در جهت راست است همین روند به طریق مشابه در بخش منفی محور تکرار شده‌است. در حالی که در حالت آرام مقدار تغییرات حداکثر تا $0.1g$ است. سرعت زاویه‌ای محور x در حالت سریع تغییر لاین به چپ حداکثر مقدار 20 درجه بر ثانیه را داشته‌است در حالی که این مقدار در حالت آرام 5 درجه بر ثانیه بوده‌است. مشابه همین روند برای تغییر خط به راست رخ داده‌است. سرعت زاویه‌ای محور y در حالت سریع تغییر لاین به چپ حداکثر مقدار 10 درجه بر ثانیه را داشته‌است در حالی که این مقدار در حالت آرام 3 درجه بر ثانیه بوده‌است. مشابه همین روند برای تغییر خط به راست رخ داده‌است.

۴-۴- گردش به چپ

سناریو طراحی شده در این آزمایش به این صورت بوده‌است که پس از



شکل ۱۴. معیار گردش به چپ (الف) شتاب محور Z (ب) سرعت زاویه‌ای محور X در دو حالت با احتیاط (قرمز) و حادثه‌آفرین (آبی)

Fig. 14. (a) Z-axis left turn acceleration (b) X-axis angular speed – cautious (red) aggressive (blue)

اشاره گردید پژوهش انجام شده در ژورنال مهندسی و حمل و نقل هوشمند [۴] بازه $\pm 0.3g$ را حد محتاطانه شتاب و $\pm 0.1g$ را حد مناسب شتاب تغییر خط می‌داند. هندبوک مهندسی ترافیک ایالات متحده آمریکا [۱۶] شتاب $-0.306g$ را حد بیشینه شتاب ترمزگیری مناسب می‌داند. انجمن حمل و نقل و بزرگراه‌های آمریکا در کتاب طراحی هندسی بزرگراه‌ها و خیابان‌ها [۱۷]، شتاب مناسب ترمزگیری را حداکثر $-0.346g$ اعلام می‌کند. استاندارد ایزو ۱۵۶۲۲ در رابطه با طراحی سیستم های کروزر کنترل، بیشینه شتاب ترمزگیری را $-0.357g$ و بیشینه شتاب مثبت را $0.2g$ و بیشینه اندازه شتاب گردش به طرفین را $0.234g$ برای پیچ‌های با شعاع حداقل ۱۲۵ متر معرفی می‌کند [۱۸].

۵- نتیجه گیری

هدف از انجام این پژوهش استفاده از یک ماژول ساده واحد ریزپردازنده ۶۰۵۰ برای جمع‌آوری اطلاعات خودرو و سپس تحلیل اطلاعات بدست آمده جهت دسته‌بندی رفتارهای رانندگی با استفاده از برد آردوینو و ماژول

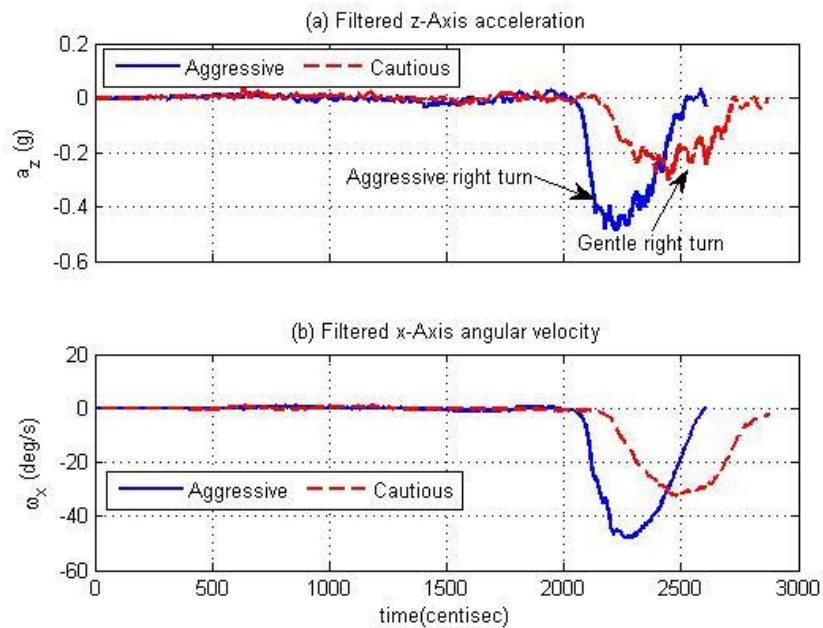
اینجا به دلیل خطرناک بودن نوع حرکت، به جای سرعت 60 km/h سرعت 30 km/h به عنوان سرعت آزمایش انتخاب گردید) در دو حالت محتاطانه و خطرآفرین بنا بر تجربه خود راننده، اقدام به گردش به سمپ راست در مسیر خیابان فرعی نماید.

همانطور که در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود در حالت گردش به راست سریع شتاب محور Z به $-0.5g$ رسیده است. در صورتی که در حالت آرام حداکثر مقدار $0.2g$ - می‌باشد. در حالت گردش به راست سریع مقدار خروجی ژيروسکوپ محور X به -50 درجه بر ثانیه رسیده است. در صورتی که در حالت آرام حداکثر مقدار 30 - درجه بر ثانیه است.

در جدول ۳ براساس آزمون‌های انجام شده، معیارهای سنجش رانندگی به نمایش درآمده‌اند.

۴-۶- اعتبارسنجی

نکته حائز اهمیت تطابق داده‌های بدست آمده در این پژوهش با مراجع و مقالات کارشده در این زمینه است. همانطور که پیشتر در بخش ۲ مورد



شکل ۱۵. معیار گردش به راست (الف) شتاب محور z (ب) سرعت زاویه‌ای محور x در دو حالت با احتیاط (قرمز) و حادثه‌آفرین (آبی)

Fig. 15. (a) Z-axis right turn acceleration (b) X-axis angular speed – cautious (red) aggressive (blue)

جدول ۱. معیارهای سنجش رانندگی

Table 1. Driving criteria

نوع معیار	شتاب		ژیروسکوپ	
	محور	حداکثر مقدار (g)	محور	حداکثر مقدار (°/s)
شتابگیری	y	۰/۲۳	z	-۳/۵
		۰/۳۴		-۵/۶
ترمزگیری	y	-۰/۱۶	z	۱/۹
		-۰/۶۸		۳/۵
تغییر خط به چپ	z	۰/۱	(x,y)	(۳و۵)
		۰/۴۲		(۱۱و۱۹)
تغییر خط به راست	z	-۰/۱	(x,y)	(-۳و-۵)
		-۰/۴۲		(-۱۱و-۱۹)
گردش به چپ	z	۰/۲	x	۲۹
		۰/۵		۵۰
گردش به راست	z	-۰/۲	x	-۲۹
		-۰/۵		-۵۰

transportation, 28 (3) (1994) 203-215.

- [9] C. Bennett, R.C.M. Dunn, Driver deceleration behaviour on a freeway in New Zealand, Transportation research record, 1510 (1995) 70-75.
- [10] R. Akçelik, M. Besley, Acceleration and deceleration models, In proceedings of 23rd conference of australian institute of transport research, Monash University Melbourne, Australia, (2001) 9P.
- [11] J. Wang, K. Dixon, H. Li, J. Ogle, Normal deceleration behaviour of passenger vehicles starting from rest at all way stop controlled intersections, 1883(1) (2004) 158-166.
- [12] L. Louis, Working principle of Arduino and using it as a tool for study and research, International journal of control, automation, communication and systems, 1 (2) (2016) 21-28.
- [13] InvenSense design and development team, MPU6000 and MPU6050 product specification, revision 3.4, InvenSense Inc, (2013) 7-22.
- [14] J. Valdez, J. Becker, Understanding the I2C Bus, Texas instruments, (2015) 8P.
- [15] ST Microelectronics design and development team, MEMS digital output motion sensor: ultra low power high performance three axis pico accelerometer, lis2hh12 datasheet, (2015) 10-11.
- [16] A. Pande, B. Wolshon, Traffic engineering handbook, Institute of transportation engineers, 7 (2016) 242.
- [17] AASHTO, A policy on geometric design of highways and streets, Green book, American association of state highway and transportation officials, 7 (2018) 202.
- [18] ISO 15622:2010, Intelligent transport systems- Adaptive cruise control systems-performance requirements and test procedures, International organization for standardization, Geneva, Switzerland, 2 (2010) 11-17.

شتاب‌سنج و ژيروسکوپ مدل ۵۲۱ بود. شتاب و سرعت زاویه‌ای متغیرهای مناسبی برای قضاوت رانندگی و رسیدن به تخمینی درست از واکنش راننده در شرایط مختلف می‌باشند. با انجام صحت‌سنجی و انجام آزمون‌های مختلف معیارهای کمی برای تشخیص نحوه رانندگی بدست آمد. به این ترتیب می‌توان برای هر مقداری از شتاب و سرعت زاویه‌ای رفتار راننده را بررسی نمود و از میزان خطرناک‌بودن یا محتاطانه‌بودن شیوه رانندگی او اطلاع یافت.

منابع

- [1] K. Sadeghniai, Z. Yazdi, M. Moradinia, O. Aminian, A. Esmaili, Traffic crash accidents in Tehran, Iran: Its relation with circadian rhythm of sleepiness, Chinese journal of traumatology, Elsevier, 18 (1) (2014) 1.
- [2] A. Ross, C. Chee, M. Goodge, C. Robson, T. Selby, K. Smith, Road Safety Guidelines for Asian and Pacific Region, Asian Development Bank, Malina, Philippines, (2003) E2-E3.
- [3] H. Zakeri, K. Kadkhodazadeh, Review of contributing factors in road traffic accidents in Iran, 25th world road congress, Seoul, Korea, (2015) 7.
- [4] M. Fazeen, B. Gozick, R. Dantu, M. Bhukhiya, M. C. González, Safe driving using mobile phones, Transactions on intelligent transportation systems, IEEE, 13(3) (2012) 4.
- [5] P.S. Bokare, A.K. Maurya, Acceleration-Deceleration behavior of various vehicle types, World conference on transport research, Elsevier, Shanghai, China, 25 (2016) 4739-4740.
- [6] D.R. Gazis, R. Herman, A. Maradudin, The problem of the amber signal light in traffic flow, Operations research, Michigan, USA, 8(1) (1960) 112-132.
- [7] P.S. Parsonson, A. Santiago, Design standards for timing the traffic-signal clearance period must be improved to avoid liability, ITE, Washington D.C, USA, (1980) 67-71.
- [8] R.H. Wortman, T.C. Fox, An evaluation of vehicle deceleration profiles, Journal of advanced

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

A. Ayat, A. Taghavipour, *Analyzing driving behavior based on vehicle information logging using MPU6050*, *Amirkabir J. Mech Eng.*, 53(Special Issue 6)(2021) 3855-3874.

DOI: [10.22060/mej.2021.18910.6916](https://doi.org/10.22060/mej.2021.18910.6916)



