کشف دست‌انداز به‌کمک محاسبات نرم

شکوه شیخ زاده[1]، حامد وحدت نژاد[2*] و رمضان هاونگی[3]

[1]دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند، بیرجند، ایران

[2و3]دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

چکیده

وجود دست‌انداز در سطح جاده‌ها معضل بزرگی در حمل‌ونقل جاده‌ای است و نادیده‌گرفتن آن منجر به افزایش تصادفات، افزایش مصرف سوخت خودرو و هدررفت وقت و انرژی خواهد شد؛ ازاین‌رو حل مسأله کشف دست‌انداز، مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته و الگوریتم‌های مختلفی برای حل آن ارائه شده است. در این مقاله، برای افزایش دقت، یک روش پردازش داده مبتنی بر محاسبات نرم برای کشف دست‌انداز پیشنهاد شده است. در روش پیشنهادی، از ترکیب سیستم فازی و الگوریتم‌های تکاملی استفاده شده است. این روش، از الگوریتم‌های ژنتیک و جستجوی هارمونی برای تنظیم توابع عضویت سیستم فازی استفاده می‌کند. به‌منظور بررسی الگوریتم پیشنهادی، عملکرد این روش برای کشف دست‌اندازهای واقع در خیابان غفاری شهر بیرجند، مورد ارزیابی قرارگرفته است. نتایج حاصل حاکی از عملکرد موفقیت‌آمیز روش پیشنهادی، در مقایسه با سایر روش‌ها، از نظر دقت است؛ به‌گونه‌ای که دقت الگوریتم فازی ژنتیک ۹۸ درصد و الگوریتم فازی هارمونی ۹۹ درصد به‌دست می‌آید.

واژگان کلیدی: محاسبات نرم، کشف دست‌انداز، سیستم فازی، الگوریتم ژنتیک، جستجوی هارمونی.

Pothole Detection by Soft Computing

Shokouh Sheikhzade[1], Hamed Vahdat-nejad[2*] & Ramezan Havangi[3]

[1]Computer Engineering Department, Faculty of Engineering, Islamic Azad University of Birjand, Birjand, Iran

[2,3]Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

Abstract

Potholes on roads are regarded as serious problems in the transportation domain, and ignoring them lead to an increase in accidents, traffic, vehicle fuel consumption, and waste of time and energy. As a result, pothole detection has attracted researchers' attention, and different methods have been presented for it up to now. Data analysis methods such as machine learning and soft computing have been widely used for detection purposes. They rely on a dataset and propose a system that can detect a special event in similar datasets. Their effectiveness can be measured by evaluating their accuracy in detecting the event.

Image processing involves a wide range of analytics that are used to extract specific information from images. The majority of image processing programs require massive computational power. The major part of previous research is based on image processing. They utilize dedicated cameras which are embedded in vehicles to take images and analyze them through massive image processing programs. This scheme requires dedicated hardware that is not typically available on vehicles.

In this paper, a new scheme is proposed, which uses accelerometer and GPS sensors. These types of sensors are available in today's smartphones as well as modern vehicles. The data generated by these sensors is processed via soft computing to increase the accuracy of pothole detection. The proposed algorithm uses a combination of a fuzzy system and evolutionary algorithms. Fuzzy systems have been widely used to model the real-world problems that are described by uncertainty and ambiguity.

* نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

* Corresponding author

• تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۹/۲۸ • تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۱۵ • تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۷/۷ • نوع مطالعه: پژوهشی

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-16]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.2.1]

Evolutionary algorithms (e.g., genetic algorithms) try to imitate evolutionary science in solving hard problems. Genetic algorithm and harmony search are used to adjust membership functions of the proposed fuzzy system.
For evaluation, a case study has been conducted with regard to detect potholes on Ghaffari Street in Birjand. To this end, a real dataset has been collected and used for implementing the proposed method. Experimental results show the high accuracy of the proposed algorithm in comparison to other solutions. They reveal that the accuracy of the proposed genetic fuzzy algorithm is 98 percent and for the proposed harmony fuzzy algorithm is 99 percent.

Keywords: Soft computing, Pothole detection, Fuzzy system, Genetic algorithm, Harmony search.

۱- مقدمه

رشد سریع شهرها، ترافیک در جاده‌ها و افزایش سرعت باعث شده تا وضعیت راه‌های جاده‌ای به مسأله مهمی در حوزه حمل و نقل تبدیل شود. یکی از ناهنجاری‌هایی که در حوزهٔ حمل و نقل مطرح می‌شود، وجود دست‌انداز در سطح جاده‌ها است [5].

دست‌انداز به گودال کم‌عمق در سطح جاده می‌گویند که در اثر فرسایش، شرایط آب و هوا، ترافیک و برخی عوامل دیگر به‌وجود می‌آید [6]. این ناهنجاری‌ها وقتی در سطح اجتماعی و مقیاس بزرگتر مطرح می‌شوند، مشکلاتی از قبیل مصرف سوخت، تصادفات و ایجاد ترافیک را به‌وجود می‌آورند که تأثیر نامطلوب بر اقتصاد و زندگی روزمره شهروندان دارد؛ همچنین با وجود این ناهنجاری‌ها، شهرداری‌ها هر ساله هزینه‌های زیادی را برای کشف دست‌انداز و تعمیر جاده‌ها متقبل می‌شود؛ ازاین‌رو کشف و تشخیص دست‌انداز در درجه نخست برای شهرداری حائز اهمیت خواهد بود؛ چون شناسایی به‌موقع این دست‌اندازها باعث صرفه‌جویی در وقت و هزینه خواهد شد [6]. به همین خاطر در سال‌های اخیر مسأله کشف دست‌انداز و ارایه یک الگوریتم مؤثر برای این منظور، مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته و روش‌هایی ارائه شده است.

یکی از پژوهش‌های انجام‌شده در زمینهٔ کشف دست‌انداز، سامانه تحلیل عکس به‌طور خودکار (AIAS[1]) است. این روش با استفاده از دوربین نصب‌شده روی خودرو از سطح جاده عکس می‌گیرد و به‌کمک رایانه عکس‌ها را تجزیه و تحلیل می‌کند؛ همچنین در این روش برای طبقه‌بندی و استخراج ناهمواری‌های جاده، از پردازش تصویر و تشخیص الگو استفاده می‌شود. روش قطعه‌بندی تصویر در این پژوهش بر مبنای الگوریتم ژنتیک است؛ درنهایت برای دسته‌بندی سطوح مختلف ناهمواری از شبکه عصبی استفاده می‌شود [7].

در [8] نیز با بررسی و مدل‌سازی تصاویر سه‌بعدی سطح جاده دست‌اندازها را شناسایی می کند.

در مقاله دیگری دو مدل برای تشخیص دست‌انداز مبتنی بر یادگیری عمیق ارائه شده است [9].

مقالهٔ دیگری در سال ۲۰۱۴ اندازهٔ دست‌انداز و سرعت وسیله نقلیه را به‌عنوان پارامترهایی برای تصمیم‌گیری زمان ترمز و شدت آن در نظر گرفته است. این پژوهش از دوربین نصب‌شده در جلوی ماشین برای جمع‌آوری اطلاعات استفاده کرده است. با استفاده از عکس‌های گرفته‌شده، قطر دست‌انداز اندازه‌گیری و درنهایت بر اساس این عکس‌ها و میزان سرعت خودرو، به راننده هشدار داده می‌شود که شدت ترمز را کم یا زیاد کند [10].

در [11] یک سامانه سنجش موبایل برای کشف ناهنجاری‌های سطح جاده با استفاده از تلفن‌های هوشمند مبتنی بر سیستم عامل اندروید ارائه شده است. در این راستا چهار الگوریتم پردازش داده توصیف شده و مورد ارزیابی قرار گرفته است. نخستین الگوریتم Z-THRESH نام دارد. این روش یک آستانه برای شتاب محور z تعریف می‌کند. هر شتابی که از این آستانه خارج شود، به‌عنوان دست‌انداز شناسایی می‌شود. دومین الگوریتم Z-DIFF نام دارد. این الگوریتم ماکزیمم تفاوت بین دو شتاب متوالی محور z را به‌عنوان یک آستانه در نظر می‌گیرد. الگوریتم سوم STDEV(Z) است. این روش ماکزیمم انحراف معیار شتاب محور z را به‌عنوان آستانه معرفی می‌کند. الگوریتم چهارم G-ZERO می‌باشد. این الگوریتم هر سه محور شتاب‌سنج را در نظر می‌گیرد و بازه پایین و بالای آن را انتخاب می‌کند. اگر شتاب خارج از این بازه بود، آن مکان دست‌انداز است [11].

به‌طورکلی در هر کدام از این پژوهش‌ها ابتدا به‌کمک حس‌گرهای شتاب‌سنج، GPS[2] و یا دوربین‌های

[1] Automated Image Analysis Systems

[2] Global Positioning System

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-16]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.2.1]

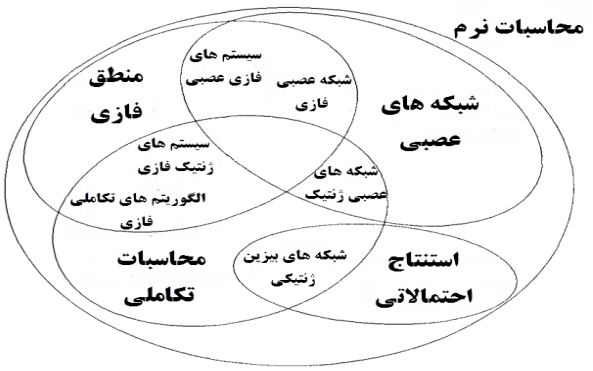
نصب‌شده روی خودرو داده‌های مورد نظر جمع‌آوری، سپس با استفاده از یک الگوریتم غیر ترکیبی داده‌ها تجزیه و تحلیل می‌شود.

در این مقاله به‌منظور افزایش دقت، از ادغام منطق فازی و الگوریتم‌های تکاملی (فازی تکاملی) برای کشف دست‌انداز استفاده شده است. استفاده از منطق فازی باعث ایجاد برنامه‌های کاربردی در زمینه طراحی سامانه‌های کنترل شده است که در آن به جای مدل‌سازی دقیق ریاضی، از دانش انسان برای مدل‌کردن یا پیاده‌سازی سامانه کنترل استفاده می‌شود [1,12] عدم قطعیت و ابهام در بسیاری از مسایل از جمله مسأله کشف دست‌انداز مشهود است. کنترل‌کننده‌های فازی یک روش برای تبدیل دانش ذهنی و مبهم انسان به استراتژی‌های کنترل ارائه می‌کنند که کارایی سامانه را افزایش می‌دهد. یکی از معایب اصلی کنترل‌کننده‌های فازی، عدم توانایی یادگیری آن‌ها است؛ درنتیجه باید از دانش و تجربهٔ افراد متخصص و کارشناس در قالب پایگاه دانش (پایگاه قواعد و توابع عضویت) در این کنترل‌کننده‌ها استفاده شود [13,14]. به‌منظور رفع این مشکل و خودکارکردن طراحی کنترل‌کننده‌های فازی، می‌توان از یک فرآیند یادگیری استفاده کرد. روش‌های مختلفی براساس قابلیت یادگیری در کنترل‌کننده‌های فازی مطرح شده است [1]. یکی از روش‌های مؤثر برای طراحی کنترل‌کننده‌های فازی استفاده از الگوریتم‌های تکاملی است که در این مقاله از آنها استفاده شده است.

ساختار بقیه مقاله به‌صورت زیر است. بخش ۲ به‌اختصار ادبیات پژوهش را معرفی می‌کند. الگوریتم‌های پیشنهادی کشف دست‌انداز در بخش ۳ معرفی می‌شود. در بخش ۴ پیاده‌سازی و ارزیابی الگوریتم‌های پیشنهادی و در بخش ۵ نتیجه‌گیری ارائه می‌شود.

۲- محاسبات نرم

اصطلاح محاسبات نرم به خانواده‌ای از روش‌های محاسباتی اشاره دارد که از چهار بخش منطق فازی، محاسبات تکاملی، شبکه‌های عصبی[1] و استنتاج احتمالی[2] تشکیل شده است. به‌طوری‌که هر یک از این بخش‌ها می‌توانند با دیگری اشتراک داشته باشند. در شکل (۱) سامانه‌های ترکیبی در محاسبات نرم مشاهده می‌شود [1,12].



(شکل-۱): سامانه‌های ترکیبی در محاسبات نرم [1]
(Figure-1): Hybrid systems in soft computing [1]

۲-۱- سیستم فازی

در منطق کلاسیک گزاره‌ها یا درست یا غلط هستند؛ به‌عبارت‌دیگر درستی گزاره با مقدار یک یا صفر مشخص می‌شود. در منطق فازی مقدار درستی گزاره‌ها یک عدد در بازهٔ [۱-۰] است. استنتاج فازی، یک فرآیند استدلال است که نتایج را از یک مجموعه قواعد اگر- آنگاه فازی و حقایق شناخته شده به‌دست می‌آورد [15].

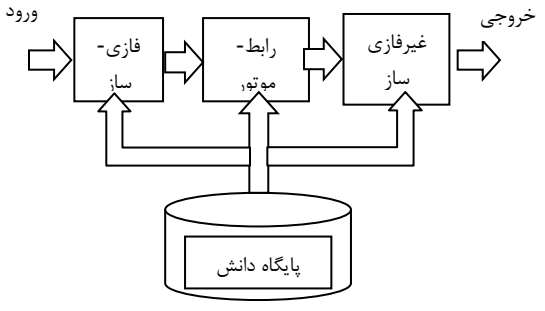
مجموعهٔ فازی و قوانین فازی با یکدیگر پایگاه دانش یک سامانه استنتاج فازی مبتنی بر قواعد را تشکیل می‌دهند. یک سامانه فازی دارای اجزای زیر است [2]:

فازی‌ساز: کار آن تبدیل متغیرهای صریح به متغیرهای زبانی است. به عبارتی مقدار عددی متغیرها را به یک مجموعه فازی تبدیل می‌کند.

موتور استنتاج فازی: با استفاده از الگوریتم‌های استنتاج قوانین را ارزیابی و استنتاج می‌کند.

غیرفازی‌ساز: خروجی فازی را به یک عدد قطعی تبدیل می‌کند.

شکل (۲) مراحل یک سامانه استنتاج فازی را نشان می‌دهد.



(شکل-۲): مراحل سامانه استنتاج فازی [2]
(Figure-2): Stages of a fuzzy inference system [2]

۲-۲- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم‌های ژنتیکی روش‌های جستجوی تصادفی هستند که بر اساس سازوکار انتخاب طبیعی و علم ژنتیک عمل

[1] Neural Network
[2] Probabilistic reasoning

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-16]
[DOI: 10.52547/jsdp.19.2.1]

می‌کنند. الگوریتم‌های ژنتیکی با مجموعه‌ای اولیه از راه حل‌های تصادفی شروع می‌شود که به آن جمعیت[1] گفته می‌شود. هر فرد از این جمعیت را یک کروموزوم[2] می‌نامند که نشان‌دهنده یک راه‌حل مسأله است. کروموزوم‌ها از طریق تکرارهای متوالی نمو[3] می‌کنند که به آن‌ها نسل[4] می‌گویند. در هر نسل، کروموزوم‌ها از طریق اندازه‌گیری تطابق[5] ارزیابی می‌شوند [16].

به‌منظور تولید نسل بعد، کروموزوم‌های جدید که به آنها فرزند[6] گفته می‌شوند از طریق عمل‌گر برش[7] و عمل‌گر پرش[8] تولید می‌شوند. کروموزوم‌های برتر شانس انتخاب بیشتری دارند و بعد از تعدادی نسل، الگوریتم‌ها به سمت کروموزوم‌های برتر هم‌گرا می‌شود که ممکن است، نشان‌دهنده راه‌حل بهینه یا زیربهینه باشد [1].

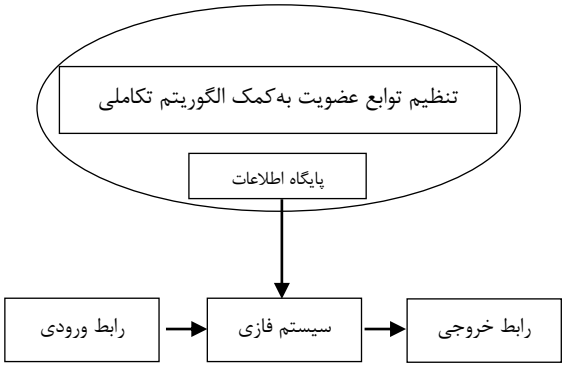
۳-۲- الگوریتم جستجوی هارمونی

یکی از الگوریتم‌های تکاملی و ابتکاری الهام‌گرفته‌شده از فرایند بهبود موسیقی است. در الگوریتم جستجوی هارمونی، از آن‌جایی که بردارهای جواب خوب باید ذخیره شوند؛ لذا کاربرد حافظه در این الگوریتم از اهمیت بیشتری برخوردار است؛ بنابراین برای ساخت بردار جواب جدید در الگوریتم جستجوی هارمونی، از همه بردارهای جواب ذخیره‌شده در حافظه استفاده می‌شود [3,17,18].

همان‌گونه که کیفیت و زیبایی یک موسیقی به عواملی از جمله زیروبمی (فرکانس صدا)، طنین (کیفیت صدا) و دامنه (رسایی و بلندی صدا) بستگی دارد تا موسیقی مطلوب حاصل شود، در الگوریتم هارمونی نیز برای رسیدن به جواب مورد نظر پارامترهایی تعریف می‌شوند که باید تنظیم شوند [19,20].

۳- کشف دست‌انداز با استفاده از الگوریتم فازی تکاملی

در این بخش الگوریتم پیشنهادی کشف دست‌انداز ارائه می‌شود. شکل (۳) ساختار کلی الگوریتم فازی تکاملی را نشان می‌دهد. این الگوریتم شامل رابط ورودی، سامانه فازی و رابط خروجی است. در روش پیشنهادی، از الگوریتم تکاملی برای تنظیم توابع عضویت سامانه فازی استفاده می‌شود.



(شکل-۳): ساختار کلی روش پیشنهادی
(Figure-3): General structure of the proposed method

برای اینکه یک سامانه فازی با این اجزا طراحی شود، باید مسألهٔ مورد مطالعه و هدف آن به‌خوبی شناسایی شود. در این مقاله، مسأله مورد مطالعه کشف دست‌انداز در سطح جاده است که با توجه به داده‌های شتاب در راستای دو محور y و z دست‌انداز را شناسایی می‌کند. هدف طراحی سامانه فازی این است که با توجه به مقادیر شتاب بتواند تعداد دست‌اندازها را در مسیر مورد مطالعه با دقت بالایی تخمین بزند؛ بنابراین، متغیرهای ورودی و خروجی سامانه فازی پیشنهادی و محدوده تغییرات آن بر اساس داده‌های جمع‌آوری‌شده شتاب‌سنج، مطابق جدول (۱) تعریف شده است.

(جدول-۱): محدوده تغییرات متغیرهای ورودی و خروجی
(Table-1): Intervals of input and output variables

متغیر	نوع متغیر	محدوده تغییرات
قدرمطلق تفاوت شتاب محور y	ورودی	(۰و۲۴۴)
قدرمطلق تفاوت شتاب محور z	ورودی	(۰و۳۷۳)
دست‌انداز	خروجی	(۰و۱)

همان‌طور که در جدول مشخص است، در سامانه فازی دو ورودی و یک خروجی داریم. ورودی‌ها به ترتیب قدرمطلق تفاوت شتاب محور y و محور z شتاب‌سنج هستند. خروجی وجود یا عدم وجود دست‌انداز است که با صفر و یک مشخص می‌شود.

توابع عضویتی که برای ورودی‌ها و خروجی‌های یک سامانه فازی تعریف می‌شود، متفاوت است. در تعریف این توابع، محدوده تغییرات برای هر متغیر ورودی و خروجی در نظر گرفته شده است. در طراحی سامانه‌های فازی به‌طورمعمول از توابع عضویت گاوسی و مثلثی

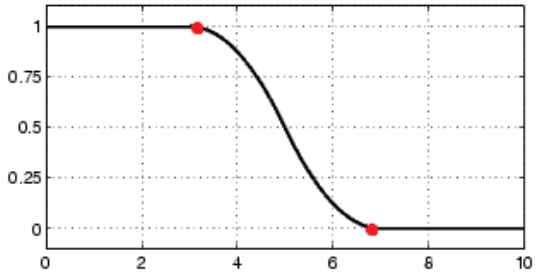
[1] Population
[2] Chromosome
[3] Evolve
[4] Generation
[5] Fitness
[6] Offspring
[7] Crossover
[8] Mutation

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-16]
[DOI: 10.52547/jsdp.19.2.1]

استفاده می‌شود. برای تعریف هر تابع عضویت مثلثی نیاز به سه پارامتر (سه رأس مثلث) است و برای تعریف توابع گاوسی معمولی نیاز به دو پارامتر است [1]؛ بنابراین با توجه به این‌که هدف این مسأله بهینه‌یابی است، باید به‌منظور کاهش وسعت فضای جستجو تا حد امکان از تواع عضویتی استفاده شود که تعداد متغیرهای بهینه‌یابی را کاهش دهد و دقت جواب خروجی را تضمین کند.

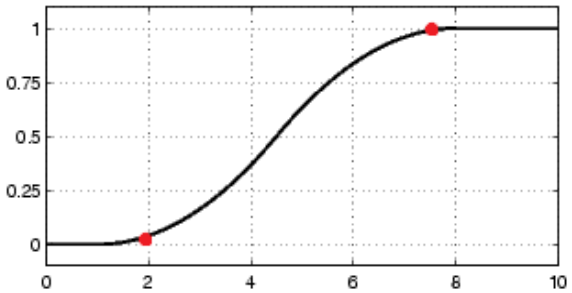
در مسأله کشف دست‌انداز، متغیر خروجی دارای دو مقدار زبانی low و high است. متغیر زبانی low همان صفر یا عدم وجود دست‌انداز و متغیر زبانی high معادل یک یا وجود دست‌انداز است. هر کدام از متغیرهای ورودی سامانه فازی، دارای سه مقدار زبانی low، medium و high است که به‌ترتیب مقادیر کم، متوسط و زیاد متغیرها را مشخص می‌کند. در این سامانه از تابع عضویت zmf برای متغیر زبانی low، از تابع عضویت گاوسی برای medium و از تابع عضویت smf برای متغیر زبانی high استفاده شده است.

شکل‌های (۴، ۵ و ۶) این توابع عضویت را نشان می‌دهند. همان‌گونه که مشخص است برای تعریف هر کدام از این توابع عضویت به دو پارامتر نیاز است که باید تنظیم شوند. در این مقاله پارامترهای توابع عضویت با استفاده از الگوریتم ژنتیک (فازی ژنتیک) و بار دیگر با کمک الگوریتم جستجوی هارمونی(فازی هارمونی) تنظیم می‌شوند.



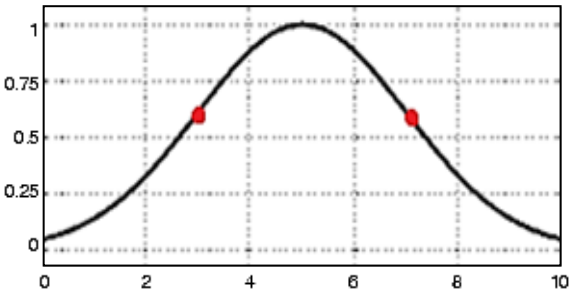
(شکل-۴): تابع عضویت zmf برای متغیر زبانی low

(Figure-4): Zmf membership function for low linguistic variable



(شکل-۵): تابع عضویت smf برای متغیر زبانی high

(Figure-5): Smf membership function for high linguistic variable



(شکل-۶): تابع عضویت گوسی برای متغیر زبانی medium

(Figure-6): Gaussian membership function for medium linguistic variable

قواعد فازی در سامانه فازی کشف دست‌انداز شامل ۹ قانون منطقی است که به‌کمک کارشناسان خبره حوزه شهری تنظیم شده است. برای مثال قانون نخست می‌گوید اگر تفاوت شتاب محور y و محور z کم باشد، آن‌گاه دست‌انداز وجود ندارد. قانون سوم می‌گوید اگر تفاوت شتاب محور y کم و تفاوت شتاب محور z زیاد باشد، آن‌گاه در آن ناحیه دست‌انداز وجود خواهد داشت؛ زیرا شتاب محور z نقش بیشتری در وجود یا عدم وجود دست‌انداز دارد. سایر قوانین یادشده را نیز می‌توان به همین صورت استدلال نمود.

1. If (diffy is low) and (diffz is low) then (pothole is low).
2. If (diffy is high) and (diffz is high) then (pothole is high).
3. If (diffy is low) and (diffz is high) then (pothole is high).
4. If (diffy is high) and (diffz is low) then (pothole is high).
5. If (diffy is high) and (diffz is medium) then (pothole is high).
6. If (diffy is medium) and (diffz is high) then (pothole is high).
7. If (diffy is medium) and (diffz is low) then (pothole is low).
8. If (diffy is low) and (diffz is medium) then (pothole is high).
9. If (diffy is medium) and (diffz is medium) then (pothole is high).

۱-۳- تنظیم توابع عضویت به‌کمک الگوریتم ژنتیک

برای تنظیم توابع عضویت به‌کمک الگوریتم ژنتیک، پارامترهای هر تابع عضویت به‌عنوان ژن در ساختار کروموزم در نظر گرفته می‌شوند. همان‌طور که در بخش قبل توضیح داده شد، برای هر ورودی سه تابع عضویت و برای خروجی دو تابع عضویت تعریف شده است. هر کدام از توابع عضویت دو پارامتر قابل تنظیم دارند؛ بنابراین ۱۶ پارامتر قابل تنظیم برای همه توابع عضویت وجود دارد.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-16]
[DOI: 10.52547/jsdp.19.2.1]

این پارامترها نشان‌دهندهٔ طول کروموزوم‌ها یا همان تعداد ژن‌ها در الگوریتم ژنتیک است. شکل (۷) پارامترهای توابع عضویت را نشان می‌دهد. هدف الگوریتم ژنتیک در اینجا تنظیم پارامترهای توابع عضویت سامانه فازی است.

X1	X2	…	X15	X16

(شکل-۷): پارامترهای توابع عضویت
(Figure-7): Parameters of membership functions

این پارامترها مقادیر حقیقی را به خود اختصاص می‌دهند. به عبارتی هر ژن از نوع حقیقی است؛ لذا نوع کروموزوم از نوع اعداد حقیقی است. همچنین از آنجا که پارامترهای توابع عضویت در محدودهٔ خاصی قرار دارند، مقادیر این ژن‌ها نیز باید در محدوده معین توسط الگوریتم ژنتیک تولید شوند؛ بنابراین باید کران پایین[1] (LB) وکران بالای[2] (UB) مقادیر ممکن ژن‌ها را تعیین کرد تا الگوریتم ژنتیک نیز مقادیر ژن‌ها را در محدوده تغییرات پارامترهای توابع عضویت تولید کند. مقادیر کران پایین و کران بالای ژن‌های کروموزوم در جدول (۲) مشاهده می‌شوند.

(جدول-۲): مقادیر کران پایین و بالا ژن‌های کروموزوم
(Table-2): Values of lower and upper bound of chromosome genes

پارامترهای توابع عضویت	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
LB	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
UB	**244**	**244**	**244**	**244**	**244**	**244**	**373**	**373**
پارامترهای توابع عضویت	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16
LB	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
UB	**373**	**373**	**373**	**373**	**1**	**1**	**1**	**1**

با توجه به هدف مسأله مورد نظر (در اینجا به کمینه‌رساندن خطای تعداد دست‌انداز تخمین زده‌شده از تعداد واقعی) برای تعیین ارزش هر کروموزوم نیاز به یک تابع برازش است. هر چه تعداد دست‌اندازهای تخمین زده‌شده به‌وسیلهٔ سامانه فازی به تعداد دست‌اندازهای واقعی نزدیک‌تر باشد، برازش بیشتر است؛ بنابراین تابع برازش برای این مسأله مجموع قدرمطلق خطاهای تعداد دست‌اندازهای تخمین زده‌شده از تعداد واقعی خواهد بود. (e_i در معادله (۱) معادل خطای i ام تعداد دست‌اندازهای تخمین زده‌شده از تعداد واقعی است.)

$$f(x) = \sum_{i=1}^{n} |e_i| \qquad (۱)$$

در نتیجه پارامترهای توابع عضویت سامانه فازی به‌وسیلهٔ الگوریتم ژنتیک به‌گونه‌ای تنظیم می‌شوند که خروجی حداقل خطا و بیشترین دقت را داشته باشد. برای تولید یک نسل در الگوریتم ژنتیک مراحل زیر اجرا می‌شوند.

مرحله نخست ابتدا جمعیت اولیه با توجه به پارامتر اندازه جمعیت (در اینجا اندازهٔ این پارامتر ۱۰۰ در نظر گرفته شده است.) و به‌صورت تصادفی ایجاد می‌شود.

مرحله دوم: کروموزوم‌های تولیدشده که معادل راه حل‌های مسأله هستند، با تابع برازش مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. به‌عبارتی هر راه‌حل تولیدشده ارزش‌گذاری می‌شود.

مرحله سوم: در این مرحله کروموزوم‌هایی که در جمعیت بهترین برازش و توانایی بقا را دارند، به‌عنوان کرومزوم‌های والد[3] شناخته می‌شوند.

مرحله چهارم: در این مرحله با توجه به پارامتر نرخ بازترکیب (Pc)، کروموزوم‌های والد که در مرحله قبل انتخاب شده‌اند با استفاده‌از عملگر بازترکیب، کروموزوم‌های جدیدی را به نام فرزند تولید می‌کنند. در الگوریتم فازی ژنتیک نرخ بازترکیب ۰/۸ در نظر گرفته شده است.

مرحله پنجم: در این مرحله کروموزوم‌های فرزند با توجه به پارامتر نرخ جهش (Pm)، که در این‌جا ۰/۲ در نظر گرفته شده است، تحت عمل‌گر جهش قرار می‌گیرند.

مرحله ششم: جمعیت جدید کروموزوم‌های تولیدشده والدین و فرزندان در مراحل قبلی با توجه به تابع برازش مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. کروموزوم‌های با برازش بهتر به‌عنوان جمعیت جدید در نظر گرفته می‌شوند. بدین ترتیب زمان اجرای الگوریتم برای رسیدن به بهینه سراسری یا جواب مطلوب کاهش پیدا می‌کند و نتایج را تا حد زیادی بهبود می‌دهد.

مرحله هفتم: مرحله آخر بررسی شرط توقف است. در این مقاله شرط توقف همان تعداد تکرارها (در این‌جا ۱۰۰) است؛ درصورتی‌که شرط توقف برقرار نباشد، الگوریتم به مرحله سوم بازمی‌گردد.

۲-۳- تنظیم توابع عضویت به کمک الگوریتم جستجوی هارمونی

در این الگوریتم، هر حل را یک هارمونی می‌نامند که با یک بردار نمایش داده می‌شود. این الگوریتم پنج گام دارد [4].

[1] Lower Band
[2] Upper Band
[3] Parent

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-16]
[DOI: 10.52547/jsdp.19.2.1]

گام نخست: تعیین مقادیر اولیه پارامترهای الگوریتم:
در ابتدا پارامترهای الگوریتم از جمله پارامتر اندازه حافظه هارمونی[1] (HMS)، پارامتر نرخ در نظر گرفتن حافظه[2] (HMCR)، نرخ تطبیق گام[3] (PAR)، فاصله پهنای باند[4] (BW) تعیین می‌شوند.

HMS=10
HMCR=0.75
PAR=0.05
BW=0.1

گام دوم: تعیین مقادیر اولیه حافظه هارمونی
مطابق شکل (۸) جمعیتی از بردارهای حل در حافظه الگوریتم جستجوی هارمونی به‌صورت تصادفی ثبت می‌شود. تعداد بردارهای حل اندازه حافظه هارمونی را نشان می‌دهند. هر بردار نشان‌دهنده یک راه حل یا جواب مسأله است که به‌طور تصادفی تولید شده است؛ اما هیچ کدام از این جواب‌ها بهترین جواب ممکن نیست؛ بنابراین با استفاده از تابع برازش مقدار برازندگی یا ارزش هر کدام از این جواب‌ها به‌دست می‌آید. تعداد پارامترها در هر بردار برابر با تعداد متغیرها (۱۶) است.
مؤلفه‌های هر بردار حل باید در محدوده تعریف شده LB و UB قرار بگیرند.

x_1^{HMS}	x_2^{HMS}	...	x_{15}^{HMS}	x_{16}^{HMS}

(شکل-۸): حافظه الگوریتم جستجوی هارمونی
(Figure-8): Memory of Harmony search algorithm

گام سوم: تولید بردار حل جدید
در این مرحله بردار حل جدید تولید می‌شود. به‌منظور تولید حل جدید، ابتدا مؤلفه اول به‌دست می‌آید و این کار تا مؤلفهٔ شانزدهم بردار حل تکرار می شود. روند ایجاد هر مؤلفه بدین صورت است که برای ایجاد یک مقدار برای متغیر n ام، ابتدا یک عدد تصادفی بین صفر و یک تولید می‌شود؛ سپس عدد تصادفی تولیدشده با پارامتر HMCR مقایسه می‌شود. اگرکوچک‌تر از آن بود، آنگاه یک مقدار برای متغیر n ام از حافظه انتخاب می‌شود. در غیر این صورت یک مقدار تصادفی از فضای جستجو برای متغیر n ام انتخاب می‌شود.

حال اگر از حافظه یک مقدار انتخاب شد، دوباره عدد تصادفی دیگری تولید و با پارامتر PAR مقایسه می‌شود. اگر مقدار عدد تصادفی کمتر از PAR بود، آن‌گاه مقدار متغیر انتخاب‌شده را متناسب با مقدار BW اندکی تغییر می‌دهد [1].

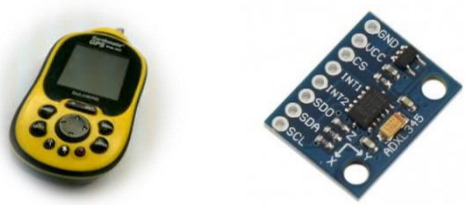
گام چهارم: به‌روزآوری حافظه هارمونی
در این مرحله راه حل تولیدشده با تابع برازش ارزیابی می شود. اگر هارمونی جدید بهتر از بدترین هارمونی در حافظه هارمونی باشد، هارمونی جدید جایگزین بدترین هارمونی در حافظه هارمونی شده و حافظه به‌روز می‌شود [3].
گام پنجم: آزمایش قاعده توقف
این فرایند تا برقراری شرط توقف ادامه پیدا می‌کند. شرط توقف برای این الگوریتم، تعداد تکرارها (۳۰۰) در نظر گرفته شده است.

۴- پیاده‌سازی و ارزیابی

برای ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی، این مقاله دست‌اندازهای واقع در خیابان غفاری شهر بیرجند (مسیری به طول ۱,۲ کیلومتر) را مورد ارزیابی قرار داده است. شکل (۹) نقشه این مسیر را نشان می‌دهد.

(شکل-۹): مسیر مورد مطالعه
(Figure-9): Studied route

داده‌ها به‌وسیلهٔ حس‌گر GPS، شتاب‌سنج سه‌محوره تعبیه‌شده روی خودرو سمند LX و به‌کمک یک میکروکنترلر جمع‌آوری شده است. سه خروجی شتاب‌سنج که شتاب حول سه محور x وzgy را نشان می‌دهند، به سه ورودی میکروکنترلر متصل شده است. در این پژوهش به‌دلیل این‌که مسیر مستقیم است و شتاب محور x تاثیر چندانی در نتیجه ندارد، این شتاب از ورودی حذف شده است و تنها از شتاب محور y و z برای شناسایی دست‌انداز استفاده می‌کند. شکل (۱۰) حسگرهای مورد استفاده را نشان می‌دهد.



(شکل-۱۰): حس‌گرهای شتاب‌سنج و GPS
(Figure-10): Accelerometer and GPS sensors

[1] Harmony Memory Size
[2] Harmony Memory Consideration Rate
[3] Pitch Adjusment Rate
[4] Bandwidth

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-16]
[DOI: 10.52547/jsdp.19.2.1]

(جدول-۳): سه محور شتاب‌سنج [8]

(Table-3): Three axes of accelerometer [8]

نوع حرکت	جهت	محور
تغییر پیچ جاده	چپ - راست	X
افزایش-کاهش شتاب	جلو - عقب	Y
ناهمواری‌های جاده	بالا - پایین	Z

جدول (۳) سه محور شتاب‌سنج را معرفی می‌کند. شتاب محور x تغییر پیچ جاده را نشان می‌دهد. محور y شتاب شتاب‌سنج شتاب رو به جلو و عقب و محور z آن شتاب بالا و پایین را نمایش می‌دهند.

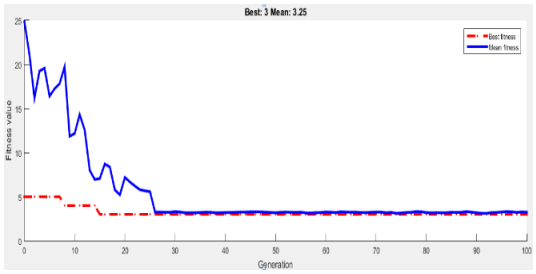
جدول (۴) اجراهای مختلف الگوریتم فازی ژنتیک و فازی هارمونی را نشان می‌دهد. الگوریتم فازی ژنتیک پس از پنج اجرا بهترین جواب را با Best=3 می‌دهد؛ اما الگوریتم فازی هارمونی در زمان زودتری نسبت به الگوریتم ژنتیک (دومین اجرا) به بهترین جواب خود با Best=2 رسیده است.

(جدول-۴): اجراهای مختلف الگوریتم فازی ژنتیک و فازی هارمونی

(Table-4): Different runs of fuzzy-genetic and fuzzy-harmony algorithms

اجرا	Best
اجرای اول الگوریتم فازی ژنتیک	43
اجرای دوم الگوریتم فازی ژنتیک	29
اجرای سوم الگوریتم فازی ژنتیک	21
اجرای چهارم الگوریتم فازی ژنتیک	7
اجرا پنجم و بهترین اجرای الگوریتم فازی ژنتیک	3
اجرای اول الگوریتم فازی هارمونی	4
اجرای دوم و بهترین اجرا الگوریتم فازی هارمونی	2

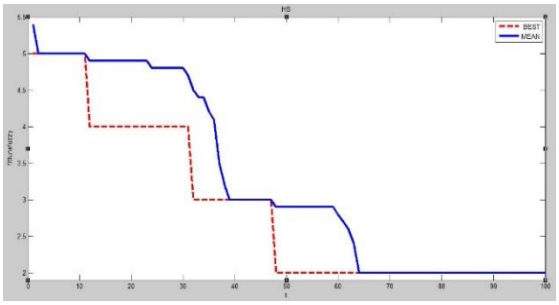
شکل (۱۱) نمودار اجرای پنجم و بهترین اجرای الگوریتم فازی ژنتیک را نشان می‌دهد. در این اجرا جمعیت اولیه ترکیبی از تصادفی و هوشمندانه (مقادیر بهترین اجراهای قبلی) است. با تغییر پارامترهای الگوریتم نسبت به اجراهای قبلی، بهترین مقدار تابع برازش از هفت به سه کاهش پیدا می‌کند.



(شکل-۱۱): نمودار اجرا ۵ الگوریتم فازی ژنتیک

(Figure-11): Run diagrams of five fuzzy-genetic algorithms

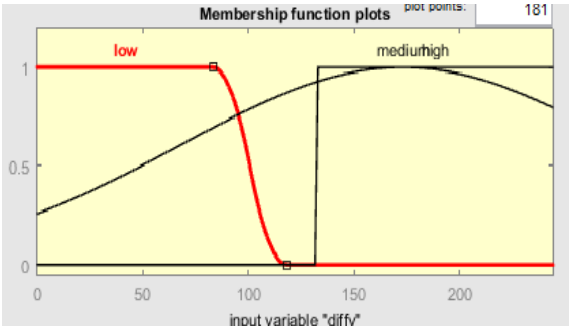
شکل (۱۲) اجرای دوم و بهترین اجرای الگوریتم فازی هارمونی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است نمودار برای صد تکرار ترسیم شده است و در تکرار ۶۴ ام نمودار Best و Mean هم‌گرا شده‌اند. (نمودار Mean میانگین جواب را نشان می‌دهد.)



(شکل-۱۲): نمودار اجرای ۲ الگوریتم فازی هارمونی

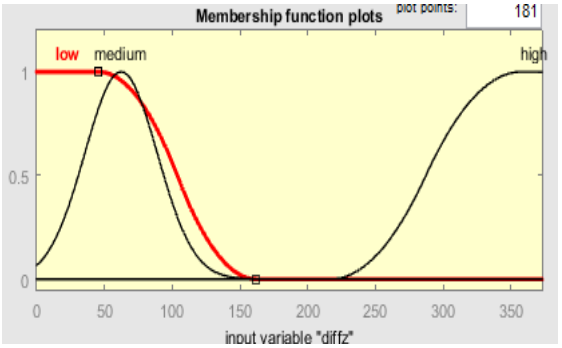
(Figure-12): Run diagrams of two fuzzy-harmony algorithms

شکل‌های (۱۳ و ۱۴) نمودار توابع عضویت بهترین اجرای الگوریتم فازی ژنتیک برای ورودی diff y و diff z را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها پارامترهای x_1 تا x_{12} به‌کمک الگوریتم ژنتیک تنظیم گردیده است.



(شکل-۱۳): نمودار تابع عضویت ورودی diff y

(Figure-13): The membership function diagram of "diff y" input



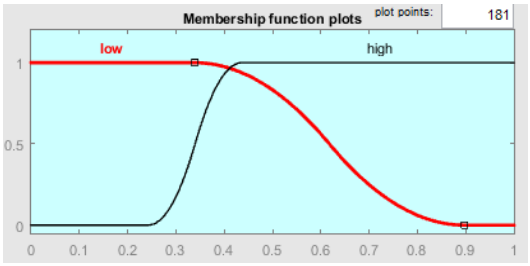
(شکل-۱۴): نمودار تابع عضویت ورودی diff z

(Figure-14): The membership function diagram of "diff z" input

شکل (۱۵) نمودار تابع عضویت خروجی (دست‌انداز) را نشان می‌دهد که از دو متغیر زبانی low و high تشکیل شده است. در این شکل پارامترهای x_{13} تا x_{16} به‌کمک الگوریتم ژنتیک تنظیم می‌گردند.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-16]

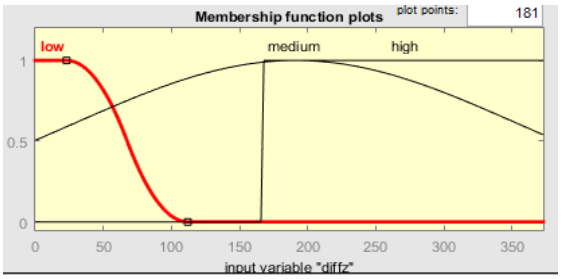
[DOI: 10.52547/jsdp.19.2.1]



(شکل-۱۵): نمودار تابع عضویت خروجی (دست‌انداز)

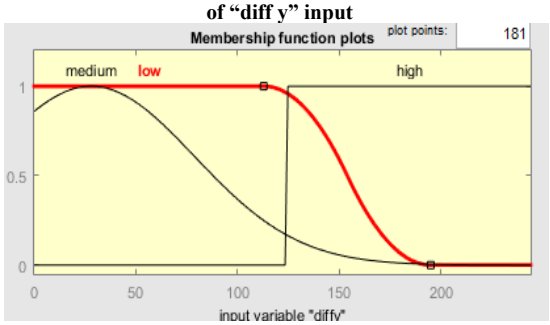
(Figure-15): The membership function diagram of "pothole" output

شکل‌های (۱۶، ۱۷ و ۱۸) نیز به‌ترتیب توابع عضویت بهترین اجرای الگوریتم جستجوی هارمونی را برای ورودی‌های diff y و diff z و خروجی (دست‌انداز) نشان می‌دهند.



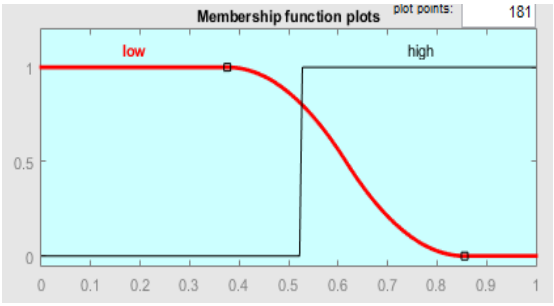
(شکل-۱۶): نمودار تابع عضویت ورودی diff y

(FigURE-16): The best membership function diagram of "diff y" input



(شکل-۱۷): مودار تابع عضویت ورودی diff z

(Figure-17): The best membership function diagram of "diff z" input



(شکل-۱۸): نمودار تابع عضویت خروجی (دست‌انداز)

(Figure-13): The best membership function diagram of "pothole" output

الگوریتم فازی ژنتیک در بهترین اجرای خود از تعداد ۲۵۵ داده دست‌انداز جمع‌آوری شده، ۲۵۲ داده را درست شناسایی کرده است. پس این الگوریتم ۹۸ درصد جواب داده است. در الگوریتم فازی ژنتیک پارامتر ارزیابی منفی کاذب[1] (FN) برابر با سه است. یعنی تعداد سه دست‌انداز وجود دارد ولی این الگوریتم تشخیص نداده است. اما پارامتر مثبت کاذب[2] (FP) برابر صفر است. پارامتر مثبت کاذب داده‌هایی را که نشان‌دهنده عدم وجود دست‌انداز است، به‌عنوان دست‌انداز می‌شمارد.

الگوریتم فازی هارمونی در بهترین اجرای خود از تعداد ۲۵۵ داده دست‌انداز جمع‌آوری شده، ۲۵۳ داده را درست شناسایی کرده است. در نتیجه این الگوریتم با دقت ۹۹ درصد جواب می‌دهد. در الگوریتم فازی هارمونی پارامتر منفی کاذب برابر با دو است. یعنی تعداد دو دست‌انداز وجود دارد؛ ولی این الگوریتم تشخیص نداده است. اما پارامتر مثبت کاذب صفر است.

جدول (۵) پارامتر مثبت واقعی[3] (TP) را در الگوریتم‌های مقاله [11] و الگوریتم‌های پیشنهادی این پژوهش با هم مقایسه می‌کند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در بین این الگوریتم‌ها الگوریتم فازی هارمونی با دقت ۹۹ درصد جواب بهتری را نسبت به الگوریتم‌های معرفی شده در مقاله [11] داده است.

(جدول-۵): مقایسه دقت الگوریتم‌های پیشنهادی و الگوریتم‌های پژوهش‌های قبلی

(Table-5): Comparison of accuracy between the proposed and previous algorithms

Z-THRESH	Z-DIFF	STDEV(Z)	G-ZERO	فازی ژنتیک	فازی هارمونی
۷۸ ٪	۹۲ ٪	۸۱ ٪	۷۳ ٪	۹۸ ٪	۹۹ ٪

۵- نتیجه‌گیری

مسأله کشف دست‌انداز یک مسأله مهم در حوزه زیرساخت و حمل و نقل است. با توجه به این‌که وجود دست‌انداز آسیب‌های جدی را از نظر افزایش مصرف سوخت و انرژی، اتلاف وقت، ایجاد ترافیک و ... می‌تواند وارد کند، برای جلوگیری از بروز این آسیب‌ها این مقاله استفاده از الگوریتم فازی تکاملی را پیشنهاد داده است.

الگوریتم پیشنهادی، برای کشف دست‌اندازهای واقع در خیابان غفاری شهر بیرجند مورد ارزیابی قرار

[1] False Negative
[2] False Positive
[3] True Positive

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-16]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.2.1]

گرفت. نتایج نشان‌دهندهٔ عملکرد مؤثر الگوریتم پیشنهادی فازی ژنتیک و فازی هارمونی در مقایسه با سایر روش‌ها است. با وجود این الگوریتم فازی هارمونی با دقت ۹۹ درصد جواب بهتری نسبت به فازی ژنتیک می‌دهد. دلیل به‌دست‌آمدن این نتیجه این است که این الگوریتم برای ایجاد حل جدید برخلاف روش ژنتیک که از دو بردار حل درنسل استفاده می‌کند، از همه حل های موجود درحافظه‌اش استفاده می‌کند. برای ادامه کار می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

مسأله کشف دست‌انداز در حوزه زیرساخت و حمل و نقل مطرح می‌شود؛ اما از این الگوریتم می‌توان در دیگر زمینه‌های محیطی و زیستی، از جمله کشف آلودگی آب و هوا و ... استفاده کرد، به‌علاوه در این پژوهش از حس گرهای شتاب‌سنج و GPS استفاده شده است که برای ادامهٔ کار می‌توان از حس‌گرهای دیگری از جمله میکروفون به‌صورت ترکیبی استفاده کرد.

6- References ۶- مراجع

[۱] مهدی خرد، تخصیص ترافیک شبکه شهری تهران با استفاده از الگوریتم فازی ژنتیک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات، دانشگاه بیرجند، ۱۳۹۵.

[1] M. Kherad, Traffic assignment of Tehran urban network by Genetic fuzzy algorithm, Master thesis, University of Birjand, 2016.

[۲] عالمه جعفری سوق و حامد شهبازی، «مروری بر الگوریتم‌های استنتاج فازی»، چهارمین کنفرانس ملی ایده‌های نو در مهندسی برق،۲۰و۲۱ آبان، ۱۳۹۴.

[2] A. Jafari, H. Shahbazi, A review on fuzzy reasoning algorithms, 4th conference of new idea on electrical engineering, 2014.

[۳] علی سجاد زاده، انتخاب ویژگی با الگوریتم جستجوی هارمونی، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق-کامپیوتر، دانشگاه بیرجند، ۱۳۹۲.

[3] A. Sajjadzadeh, Feeature selection by harmony search algorithm, Master thesis, University of Birjand, 2013.

[۴] ایمان رستگار و راشد صحرائیان، «توسعه روش جستجوی هماهنگی در حل مسائل بهینه‌سازی: مطالعه موردی در زمان‌بندی تولید ماشین‌های موازی»، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، صفحه ۵۷-۷۱، ۱۳۹۲.

[4] R. Sahraeian, I. Rastgar, "Developing harmony search algorithm for solving optimization problems: a case study in parallel machine production scheduling problem", *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, Vol 1, 2013.

[5] G. Alessandroni, LC. Klopfenstein, S. Delpriori, M. Dromedari, G. Luchetti, BD. Paolini, A. Seraghiti, E. Lattanzi, V. Freschi, A. Carini and A. Bogliolo, "SmartRoadSense: collaborative road surface condition monitoring," *The Eighth International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies, UBICOMM*, 2014, pp. 210-215.

[6] S. Balakuntala and S. Venkatesh, "An intelligent system to detect, avoid and maintain potholes: A graph theoretic approach," *arXiv preprint arXiv*: 1305.5522, 2013.

[7] E. Salari and X. Yu, "Pavement distress detection and classification using a genetic algorithm," *IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR)*, pp. 1-5, 2011.

[8] R. Fan, U. Ozgunalp, I. Pitas "Pothole Detection Based on Disparity Transformation and Road Surface Modeling," *IEEE Transactions on Image Processing*, pp. 897-908, 2019.

[9] A. Dhiman, R. Klette, "Pothole Detection Using Computer Vision and Learning," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, pp. 3536 - 3550, 2019.

[10] X. Ankalikar, T. Bhatia, S. Chowdhary and M. Roja, "Fuzzy controller based pothole detection system," *Tania Bhatia et al, Int.J.Computer Technology & Applications*, vol. 5, no. 5, pp.1763-1767, 2016.

[11] A. Mednis, G. Strazdins, R. Zviedris, G. Kanonirs and L. Selavo, "Real time pothole detection using Android smartphones with accelerometers," *International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops*, 2011, pp. 1-6.

[12] H. Verbruggen and P. Bruijn, "Fuzzy control and conventional control: What is (and can be) the real contribution of fuzzy systems?," *Fuzzy Sets and Systems*, vol .90, pp. 151-160, 1997.

[13] O. Cordón, "Genetic fuzzy systems: evolutionary tuning and learning of fuzzy knowledge bases", *World Scientific*, vol. 19, 2001.

[14] R. Yager, Ronald, and A. Lotfi Zadeh, "An introduction to fuzzy logic applications in intelligent systems", *Springer Science & Business Media*, vol. 165, 2012.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-16]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.2.1]

[15] J.-S. R. Jang, C.-T. Sun, and E. Mizutani, "Neuro-fuzzy and soft computing: A computational approach to learning and machine intelligence", America: Prentice-Hall, 1997.

[16] A. P. Engelbrecht, "Computational intelligence: an introduction,", John Wiley & Sons, 3 ed, 2007.

[17] K. S. Lee, Z.W. Geem, S. H. Lee and K. W. Bae, "The harmony search heuristic algorithm for discrete structural optimization," *Engineering Optimization*, vol. 37, no. 7, pp. 663–684, 2005.

[18] M. Mahdavi, M. Fesanghary and E. Damangir, "An improved harmony search algorithm for solving optimization problems," *Applied Mathematics Computation*, vol. 188, no. 2, pp. 1567–1579, 2007.

[19] C. Zanchettin and T. B. Ludermir, "A methodology to train and improve artificial neural network's weights and connections," *International Joint Conference on IJCNN*, 2006, pp. 5267-5274.

[20] Z. W. Geem, *Music-Inspired Harmony Search Algorithm*," Springer –Verlag Berlin Heidelberg, 2009.

رمضان هاونگی کارشناسی ارشد و دکترای خود را در رشته مهندسی برق کنترل به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۱ از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی دریافت کرد. وی هم اکنون دانشیار گروه الکترونیک پردیس مهندسی دانشگاه بیرجند است. زمینه پژوهشی مورد علاقه ایشان ناوبری اینرسی و تلفیقی، تئوری تخمین، داده‌کاوی، الگوریتم‌های تقریبی و محاسبات نرم است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

havangi@birjand.ac.ir

شکوه شیخ‌زاده کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی نرم‌افزار به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۵ از دانشگاه صنعتی بیرجند و دانشگاه آزاد اسلامی دریافت کرد. زمینه پژوهشی مورد علاقه ایشان داده‌کاوی، الگوریتم‌های تقریبی و محاسبات نرم است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

Sheikhzade.69@gmail.com

حامد وحدت‌نژاد مدارک کارشناسی ارشد و دکترای خود را در رشته مهندسی کامپیوتر به ترتیب از دانشگاه فردوسی مشهد و اصفهان دریافت کرد. وی هم‌اکنون دانشیار گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه بیرجند است و بیش از پنجاه مقاله علمی انگلیسی را تألیف و چاپ کرده است. زمینه پژوهشی مورد علاقه ایشان شهر هوشمند و اینترنت اشیا و پردازش و تحلیل داده است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

vahdatnejad@birjand.ac.ir

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-16]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.2.1]

[DOI: 10.52547/jsdp.19.2.1] [Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-09-16]