



## Detecting the Probability of Stroke through Blood Plasma Measurement and ECG Examination using Fuzzy Logic

Marziyeh Barootkar<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Faculty Member, Department of Computer Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

### ARTICLE INFO

#### Article Type:

Original Research

**Received:** 09.03.2022

**Revised:** 12.06.2022

**Accepted:** 02.14.2023

#### Keyword:

Brainstem Stroke

Fuzzy Logic

Prediction

Autonomic Nervous System

#### \*Corresponding Author:

Marziyeh Barootkar

**Email:**

[barootkar.znu65@gmail.com](mailto:barootkar.znu65@gmail.com)

### ABSTRACT

Disorders of the autonomic nervous system (ANS) complicate the clinical course in patients with acute stroke. This research presented a model that can be used to detect any deficiency in the autonomic nervous system and show its relationship with the occurrence of stroke. The data used in the present research was provided by using previous studies conducted on the functioning of the autonomic nervous system in patients suffering from stroke (brainstem). The focus of this research was to examine studies that present the function of the autonomic nervous system in the early period after stroke. The current research determined the effect of stroke location on autonomic nervous system function and by examining the vital parameters of the body, an attempt was made to relate them to the functioning of the autonomic nervous system. In the final step, using other research, vital data associated with the functioning of the autonomic nervous system was identified. Then, using these data and a fuzzy system based on Takagi-Sugno's logic, the correct functioning of the autonomic nervous system was estimated with parameters in the heart, brain, and blood plasma measurements. This estimate helps to identify the patient's condition and his proximity and distance to stroke.



---

## EXTENDED ABSTRACT

---

### Introduction

In this research, a method was developed to identify the health status and determine the stroke index. At first, the indicators affecting the health of the autonomic nervous system were extracted. At last, vital data related to the functioning of the autonomic nervous system were extracted. Then, using these data and using fuzzy logic, the correct functioning of the autonomic nervous system was estimated with parameters in the heart, brain, and blood plasma measurements. As it was found by referring to the background of the research, little research has been done on the prediction of stroke, and due to the lack of use of important factors such as the measurement of the integrals of the upper and lower bands of the cardiac band and blood plasma tests, the conducted cases do not have sufficient accuracy. In this research, a model was presented to express the string condition of the stroke index. In this method, by calculating the absolute value of the minimum distance of the stroke index from the available values, it was tried to express the type of health condition of each person. Using the performed simulations and the obtained results, it was seen that the amount of deviation from the normal state, either in the direction of increasing or decreasing the health indicators, will be to an unfavorable extent.

### Methodology

In this section, the design of a fuzzy system is discussed using the data available in existing articles. Patients with modular stroke, whose type of stroke has the greatest effect on the functioning of the autonomic nervous system, are simulated with the number "one". Patients with non-modular stroke, in which the type of stroke has a lesser effect on the functioning of the autonomic nervous system, are simulated with the number "0.4". And finally, the control group, which is in perfect health, is marked with a zero index. Now, by designing and implementing a fuzzy system, it is possible to estimate the status of each person with an index between zero and one. where the index of zero will indicate complete health and the index of one will indicate modular stroke and dysfunction of the autonomic nervous system.

The inputs of the fuzzy system are six variables; which were selected as (RR, HFB, LFB, LFB/HFB, NEP, EP). In order to consider sufficient accuracy, all inputs have 9 membership functions as [C, Hm, Hn, Am, An, Sm, Sn, Cm, Cn]. which, from left to right, represent healthy people (Control), hyperacute phase in (medullar, non-medullar) forms, acute phase in (medullar, non-medullar) forms, subacute phase (medullar, non-medullar), and finally chronic phase (medullar, non-medullar). For the output of the fuzzy system, which is the stroke index, according to the Takagi-Sugno method, fixed functions were selected as follows:

$$[0, 0.1, 0.2, 0.25, 0.3, 0.4, 0.5, 0.75, 1] \quad (1)$$

The set of fuzzy rules for extracting the stroke index was chosen as follows (Table 1):

**Table 1. Set of fuzzy rules.**

Rule Number	RR	HFB	LFB	LFB/HFB	NEP	EP	Stroke Index
1	C	C	C	C	C	C	0
2	Hm	Hm	Hm	Hm	Hm	Hm	1
3	Am	Am	Am	Am	Am	Am	0.75
4	Sm	Sm	Sm	Sm	Sm	Sm	0.5
5	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	0.25
6	Hn	Hn	Hn	Hn	Hn	Hn	0.4
7	An	An	An	An	An	An	0.3
8	Sn	Sn	Sn	Sn	Sn	Sn	0.2
9	Cn	Cn	Cn	Cn	Cn	Cn	0.1

## Results and discussion

In this section, by calculating the absolute value of the minimum distance of the stroke index from the values in relation 1, it is attempted to express the type of health condition of each person. For example, for a healthy person with a stroke index of 0.0413, the minimum distance value is calculated with the mentioned values. And because it has the smallest distance from the zero point, the condition of this healthy person is expressed as (C). To test this, some arbitrary inputs were given to the variables and the output of the fuzzy system was reported in Table 2.

**Table 2. Fuzzy system inputs and MATLAB program response.**

Number	RR	HFB	LFB	LFB/HFB	NEP	EP	Output
1	1110	3336	4769	3.116	2.762	0.446	Stroke index = 0.5 Condition = Sm
2	649	195	616	0.486	-0.003	-0.068	Stroke index = 0.5 Condition = Sm
3	949	1500	2616	1.7	1.3	0.25	Stroke index = 0.29169 Condition = An
4	800	1500	3000	1.542	1.2	0.231	Stroke index = 0.2 Condition = Sn

Comparing the first and second lines gives an interesting result. Expressing this fact that if the input indices of the fuzzy system are at maximum or minimum values, the health status of the person and the stroke index found will be unfavorable. Perhaps this matter can be said in another way: the degree of deviation from the normal state, either in the direction of increasing or decreasing the health indicators, will be to an unfavorable extent.

## Conclusion

In this research, a method was developed to identify health status and determine the stroke index. At first, the indicators affecting the health of the autonomic nervous system were extracted. Then, using these data and using fuzzy logic, the correct functioning of the

autonomic nervous system was estimated with parameters in the heart, brain, and blood plasma measurements. This estimate helps to identify the patient's condition and his proximity and distance to stroke. For this purpose, a model was presented to express the string condition of the stroke index. In this method, by calculating the absolute value of the minimum distance of the stroke index from the values in relation 1, it was attempted to express the type of health condition of each person. Using the performed simulations and the obtained results, it was seen that the amount of deviation from the normal state, either in the direction of increasing or decreasing the health indicators, will be to an unfavorable extent.

## تشخیص احتمال وقوع سکته با استفاده از سنجش پلاسمای خون و بررسی نوار قلب با به‌کارگیری منطق فازی

مرضیه باروتکار\*<sup>1</sup>

۱- عضو هیئت علمی، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.

### چکیده

### اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۱۲

بازنگری مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۱۵

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۲۵

### کلید واژگان:

سکته ساقه مغز

منطق فازی

پیش‌بینی

سیستم عصبی خودمختار

اختلال در سیستم عصبی خودمختار (ANS)، دوره بالینی در بیماران مبتلا به سکته مغزی حاد را پیچیده می‌کند. این پژوهش، مدلی را ارائه می‌دهد که با استفاده از آن، هرگونه نقصان در سیستم عصبی خودمختار شناسایی شده و میزان ارتباط آن با وقوع سکته مغزی نشان داده می‌شود. داده‌های خام استفاده شده در پژوهش حاضر با استفاده از مطالعات انجام شده بر روی عملکرد سیستم عصبی خودمختار در بیماران مبتلا به سکته مغزی (ساقه مغز) تأمین می‌گردد. تمرکز این پژوهش بر بررسی پژوهش‌هایی است که عملکرد سیستم عصبی خودمختار را در دوره اولیه پس از سکته مغزی ارائه می‌دهند. این مطالعه به تعیین تأثیر محل سکته مغزی در عملکرد سیستم عصبی خودمختار می‌پردازد و با بررسی پارامترهای حیاتی بدن سعی در ارتباط آنها با عملکرد سیستم عصبی خودمختار دارد. در گام نهایی با استفاده از سایر پژوهش‌ها، داده‌های حیاتی مرتبط با عملکرد دستگاه عصبی خودمختار شناسایی می‌شود. سپس با استفاده از این داده‌ها و استفاده از یک سیستم فازی بر پایه منطق تاکاگی سوگنو، میزان عملکرد صحیح دستگاه عصبی خودمختار با پارامترهایی در نوار قلب، مغز و سنجش پلاسمای خون تخمین زده می‌شود. این تخمین به شناسایی وضعیت بیمار و نزدیکی و دوری وی به سکته مغزی کمک می‌کند.

\*نویسنده مسئول: مرضیه باروتکار

پست الکترونیکی:

[barootkar.znu65@gmail.com](mailto:barootkar.znu65@gmail.com)

## مقدمه

در سال‌های اخیر و در سراسر جهان، تعداد افراد مبتلا به سکته مغزی به شکل نگران کننده‌ای رو به افزایش است و این امر در حالی است که سکته مغزی به‌عنوان یکی از پنج علت اصلی مرگ و میر در جهان شناخته شده است. در بدترین حالت ممکن، سکته مغزی منجر به مرگ بیمار می‌شود و تعداد زیادی از افراد با ناتوانی‌های به‌وجود آمده توسط این بیماری زندگی می‌کنند. تشخیص زودهنگام سکته مغزی می‌تواند با پیاده‌سازی سیستم تشخیص محاسباتی که شامل استفاده از اطلاعات تشخیص پزشکی و تعیین قوانین پزشکی (با مشورت پزشکان) برای تشخیص سکته مغزی است، امکان‌پذیر باشد. با همکاری علم پزشکی و محاسبات نرم می‌توان به پیش‌بینی مطلوب بیماری‌های خاص دست یافت. یک سیستم تشخیص محاسباتی دارای استدلال منطقی و قوانین پزشکی تعیین شده برای پیش‌بینی بیماری است که می‌تواند خطرات ناشی از خطای انسانی و کمبود دانش را به حداقل برساند.

با توجه به شواهد به‌دست آمده در مطالعه‌ای روی بیماران مبتلا به سکته مغزی، یک اختلال عملکرد گذرا در سیستم عصبی خودمختار در مواردی که سکته مغزی مدولار در مرحله حاد باشد، در مقایسه با حالتی که سکته مغزی غیر مدولار باشد، وجود دارد [۱]؛ و این امر بیانگر این است که در دوره اولیه پس از سکته مدولار در ساقه مغز، عملکرد سیستم عصبی خودمختار دچار اختلال می‌شود.

اندازه‌گیری نوار قلبی در طول دوره‌های بعدی درمان نشان‌دهنده بهبود HRV<sup>1</sup> و در نتیجه بازسازی عملکرد سیستم عصبی خودمختار است. تجزیه و تحلیل طیفی HRV در یک نوار کوتاه مدت پنج دقیقه‌ای ECG دارای دو مؤلفه فرکانس اصلی است: باند فرکانس بالا (0/40 Hz - 0/15 HFB): که نشان‌دهنده فعالیت پاراسمپاتیک است؛ و باند فرکانس پایین (0/15 Hz - 0/04 LFB): که نشان‌دهنده هر دو فعالیت سمپاتیک و پاراسمپاتیک است [۱]. در موردی دیگر مشاهده شد که سطح اپی‌نفرین پلاسما (EP) در بیماران مبتلا به سکته مدولار در حد نرمال قرار داشته و در مراحل فوق حاد و حاد سکته غیر مدولار افزایش داشته است. این اختلاف نشان می‌دهد که به‌طور کلی بیش‌فعالی سمپاتیک (مشخصه دوره حاد سکته مغزی)، در بیماران مبتلا به سکته مغزی مدولار کمتر از بیماران مبتلا به سکته غیر مدولار است [۲]. در این مطالعه، نسبت LFB / HFB (انتگرال روی باند پایین و بالا در سیگنال ECG) بین بیماران و گروه شاهد تفاوت قابل توجهی نداشت. همچنین، مشخص است که انتگرال زیر منحنی بر باندهای LFB و HFB در تفسیر نسبت LFB / HFB بسیار کارا و راهگشاست [۳]. بنابراین، افزایش یا کاهش در انتگرال باندهای LFB و HFB به‌تنهایی نمی‌تواند نسبت یاد شده را تغییر دهد، اگرچه عملکرد نوسانی تپش‌های خودمختار قلب تغییر خواهد کرد. رویز و همکاران [۴] بیان کردند که مغز نقش اساسی در تعدیل عملکرد خودمختار قلب دارد و سکته مغزی علت قطعی عوارض قلبی عروقی مرتبط با اختلال عملکرد خودمختار است. آنان مشاهده کردند که عملکرد بخش‌های سمپاتیک و پاراسمپاتیک سیستم عصبی خودمختار پس از سکته مغزی مدولار تنزل یافته است.

نوعی از سکته مغزی که برخی از نواحی نیمکره مغز را درگیر می‌کند، مانند اینسولا، آمیگدال و هیپوتالاموس جانبی، ممکن است باعث تغییراتی در کنترل خودکار عملکرد قلب شود [۵]. مطالعات متعددی نشان داده است که اختلالات دستگاه عصبی خودمختار در سکته حاد می‌تواند اختلالات قلبی و عروقی مختلفی را ایجاد کند [۶]. افزایش سطح آنزیم‌های قلبی، آریتمی قلبی و ECG پاتولوژیک در بیماران مبتلا به سکته حاد دیده می‌شود.

در یک مطالعه، خانم ۵۸ ساله‌ای به دلیل شروع حاد همی پارزی چپ صورت- بازویی- کروال و دیس آرتری به اورژانس مراجعه کرد. سی تی اسکن مغز، ضایعه سکته غیر حاد همراه با انفارکتوس همورازیک در قشر اینسولا-رولاندی راست را نشان داد. در طی چند روز بعد ECG برادی کاردی شدید همراه با طولانی شدن QTc، مکث‌های قابل توجه (۵ ثانیه)، تاکی کاردی بطنی غیر پایدار و تورساد د پوینتس را نشان داد. در ادامه با مطالعات صورت گرفته، سابقه نارسایی

<sup>1</sup> Heart Rate Variability

قلبی و بیماری ساختاری قلب رد شد. این مورد تأیید می‌کند که قشر منزوی نقش عمده‌ای در تغییرات قلبی عروقی ناشی از سکته دارد [۷]. اختلال در عملکرد سیستم عصبی خودمختار، به‌ویژه در بیش فعالی‌های سمپاتیکی<sup>۱</sup>، ممکن است آریتمی قلبی را تحریک کند و در نتیجه عوارض و مرگ و میر ناشی از سکته مغزی را افزایش دهد. دلیل وقوع بیماری اختلال عملکرد سیستم عصبی خودمختار در سکته حاد به‌خوبی روشن نیست.

در مطالعه دیگری، HRV در بیماران مبتلا به مرگ مغزی ناپدید شد. اختلال عملکرد خودمختار قلبی عروقی در بیماران مبتلا به تصلب شریان<sup>۲</sup> نیز دیده می‌شود؛ و ارتباط قابل توجهی بین وجود اختلال در عملکرد سیستم عصبی خودمختار و ضایعات مغزی وجود دارد. با این حال، ممکن است که محل سکته مغزی در ساقه مغز در بیماری‌های قلبی تأثیر کمی داشته باشد، اما به نظر می‌رسد که یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر اختلال عملکرد سیستم عصبی خودمختار، محل سکته مغزی باشد [۸]. همچنین در بیماران با سکته مغزی مدولار، فواصل RR، پارامترهای نوسانی خودمختار قلب در هر دو گروه از بیماران در مرحله نیمه حاد به طور معنی‌داری کوتاه‌تر از گروه کنترل بود. همچنین فاصله زمانی RR در بیماران مبتلا به سکته مغزی مدولار به‌طور واضحی کمتر از بیماران مبتلا به سکته مغزی غیر مدولار ثبت شد (جدول ۱).

کیتامورا و همکاران [۹] در پژوهشی، تأثیر انفارکتوس اینسولار بر تغییرات فشار خون (BP)<sup>۳</sup> را روشن کردند و پیامدهای آن را با توجه به ناحیه قشر منزوی آسیب‌دیده بررسی نمودند. رومانو و همکاران [۱۰] در پژوهش خود به نتایج ذیل رسیدند؛ سکته مغزی که برخی از نواحی نیمکره مغز را درگیر می‌کند (مانند اینسولا، آمیگدال و هیپوتالاموس جانبی)، ممکن است باعث تغییراتی در کنترل خودکار عملکرد قلب شود. قشر منزوی نقش عمده‌ای در تغییرات قلبی عروقی ناشی از سکته دارد. ژائو و همکاران [۱۱] در پژوهش ارتباط عملکرد سیستم عصبی خودمختار با سکته مغزی ایسکمیک و راهبردهای درمانی، دریافتند که اندازه‌گیری HRV ممکن است به شروع زودهنگام مداخلات در بیماران سکته مغزی حاد یا مزمن با استفاده از درمان‌های جدید شامل تعادل مجدد عملکرد سیستم عصبی خودمختار کمک کند. گوان و همکاران [۱۲]، در پژوهش خود بر روی سیستم عصبی خودمختار دریافتند که عوامل خطر سنتی و محرک‌های حاد سکته مغزی ایسکمیک به ترتیب عوامل استرس‌زای مزمن و حاد یا به طور کلی «استرس‌ها» هستند. اولین بررسی آنها شواهد محکمی از رابطه بین استرس مزمن و وقوع سکته را نشان می‌دهد. پاسخ استرس به شدت توسط ANS تنظیم می‌شود که عملکرد آن را می‌توان با تغییرات ضربان قلب (HRV) ارزیابی کرد. بررسی دوم آنها نشان داد که عوامل خطر مرتبط با استرس سکته مغزی ایسکمیک با اختلال عملکرد ANS و اختلال HRV مرتبط است. نتیجه‌گیری‌های آنها از این ایده حمایت می‌کنند که پارامترهای HRV ممکن است اثرات ترکیبی همه عوامل استرس‌زای بدن را نشان دهند؛ که عوامل خطر سکته مغزی ایسکمیک هستند. بنابراین، ممکن است ارزش زیادی برای پیش‌بینی خطر رویدادهای ایسکمیک بعدی پس از TIA<sup>۴</sup> یا سکته جزئی داشته باشند.

محل وقوع سکته، در سکته مغزی حاد همیسفریک<sup>۵</sup> ممکن است بر عملکرد سیستم عصبی خودمختار تأثیر بگذارد؛ همان‌طور که قبلاً شرح داده شد، اهمیت ضایعات سکته حاد در تحریک آریتمی قلبی اثبات شده است؛ به نظر می‌رسد که وقوع سکته مغزی در نیم کره راست بدن، فعالیت پاراسمپاتیکی<sup>۶</sup> را کاهش می‌دهد [۱۳]. همچنین دیده شد که نوراپی نفرین پلاسما (NEP) در بیمارانی با سکته مغزی در نیم کره راست به طور قابل توجهی بالا است [۱۴]. در مقابل، بیماران مبتلا به سکته در ساقه مغز، به ندرت مورد مطالعه قرار گرفتند. در یک مطالعه اخیر، سکته مغزی حاد در بصل

<sup>1</sup> Sympathetic Hyperactivity

<sup>2</sup> Multiple Sclerosis

<sup>3</sup> Blood Pressure

<sup>4</sup> Transient Ischemic Attack

<sup>5</sup> Hemispheric

<sup>6</sup> Parasympathetic

النخاع با اختلال در عملکرد خودکار قلبی عروقی همراه بود که منعکس کننده کاهش در پارامتر تغییرات ضربان قلب (HRV) است [۴]. روش دیگری که معمولاً برای ارزیابی عملکرد سیستم عصبی خودمختار در بیماران با سکنه مغزی حاد استفاده می‌شود عبارت است از: سنجش کاتکولامین‌های پلاسما (نوراپی نفرین (NEP) و اپی نفرین (EP)). افزایش کاتکولامین‌های پلاسما به عنوان یک نشانگر غیرمستقیم از ویژگی‌های بیش‌فعالی سمپاتیک در دوره حاد سکنه مغزی است؛ همچنین، اغلب در سایر بیماری‌های حاد داخل جمجمه نظیر خونریزی داخل مغزی و آسیب‌های جمجمه نیز مشاهده می‌شود [۴].

سیستم‌های فازی در مدلسازی رفتاری سیستم‌های مختلف با پیچیدگی‌های بالا دارای بازدهی و عملکرد قابل قبولی می‌باشند. یکی از روش‌های طراحی سیستم فازی، تجزیه رفتارهای پیچیده سیستم به چند رفتار در محدوده تغییرات مشخصی است. در این راهبرد، پس از طراحی الگوریتم مناسب برای هر بخش، می‌توان اقدامات متناظر را با هم ترکیب نمود. در این پژوهش، سیستم فازی به گونه‌ای طراحی می‌شود که بتواند با تعیین ضریب سکنه (Stroke Index)، شانس ابتلا به بیماری سکنه در ساقه مغز و از کار افتادن اعصاب خودمختار را پیش‌بینی کند.

فرزانه اسلام و همکاران [۱۵؛ ۱۶] در پژوهش خود با عنوان «یک مدل پیش‌بینی مبتنی بر منطق فازی برای تشخیص زودهنگام سکنه مغزی»، به معرفی سیستم پیشنهادی پیش‌بینی سکنه مغزی پرداخته و عوامل خطر بالقوه و حیاتی سکنه را برای طراحی مدل مشخص می‌کنند. مجموعه داده‌های استفاده شده توسط آنان از کالج پزشکی داکا، واقع در بنگلادش و با استفاده از تکنیک داده کاوی جمع‌آوری شده است. در این روش، عوامل خطر ضعیف حذف می‌شوند. با استفاده از سیستم استنتاج منطق فازی و طبقه‌بندی فازی C-means، داده‌های ورودی طبقه‌بندی شده است. سپس برای ساختن یک مدل پیش‌بینی مطلوب، با استفاده از سیستم استنتاج فازی، قانون if-then ایجاد می‌گردد. نهایتاً مدل پیش‌بینی توسعه یافته توسط آنان، به دلیل مهیا کردن دقتی بالاتر از سایر مدل‌ها، رضایت پزشکان را به دست آورد. مدل توسعه یافته یاد شده، نه تنها به افراد نیازمند کمک می‌کند، بلکه برای متخصصان پزشکی نیز مفید خواهد بود. هرچند پژوهش‌های مربوطه گامی مؤثر در پیش‌بینی احتمال سکنه است، اما از فاکتورهای خطری نظیر (فشارخون، سابقه سکنه، مصرف تنباکو و مصرف مسکن) استفاده کرده است. درحالی‌که تمرکز این پژوهش بر سیستم اعصاب مرکزی بوده و آزمایش‌های پلاسمای خون را نیز شامل می‌شود.

در ادامه، چن و همکاران [۱۷] در پژوهش خود با عنوان «طراحی و توسعه یک دستگاه پوشیدنی برای تشخیص سکنه گرمایی» دست به طراحی یک دستگاه پوشیدنی تشخیص شوک گرمایی (WHDD)<sup>۱</sup> با قابلیت اعلان اولیه پرداختند. ابتدا، برای به دست آوردن اطلاعات پزشکی از افراد ورزشکار از چند حسگر فیزیکی مانند پاسخ پوست گالوانیکی (GSR)<sup>۲</sup>، ضربان قلب و دمای بدن استفاده کردند. علاوه بر این، بر اساس تئوری فازی، برای تشخیص ویژگی‌های گرمزدگی، سیستمی را طراحی نمودند. در این سیستم، اگر موقعیت خطرناکی تشخیص داده شود، دستگاه عملکرد هشدار را فعال می‌کند تا به کاربر یادآوری کند که برای جلوگیری از گرمزدگی واکنش لازم را انجام دهد. هرچند پژوهش مربوطه گامی مؤثر در پیش‌بینی احتمال سکنه گرمایی است، اما برای تشخیص سکنه مغزی کاربرد نداشته و صرفاً در کاربردهای ورزشی مورد استفاده است.

در ادامه، سلیمان و همکاران [۱۸] در پژوهش خود با عنوان «طراحی سیستم خبره فازی و عامل قطعیت در تشخیص زودهنگام بیماری سکنه مغزی، سیستمی طراحی کردند که تشخیص یا تصمیم‌گیری براساس شرایط موجود در یک سکنه را به شکلی مؤثر، دقیق و کارآمد مهیا نماید. سیستم یاد شده از روش فاکتور قطعی برای اندازه‌گیری قطعیت بیست علامت سکنه مغزی و از منطق فازی به عنوان راهکار منطقی در پردازش تاریخچه پزشکی بیمار استفاده می‌کند. در پژوهش یاد شده، مقدار ویژگی F-Measure برای سیستم طراحی شده ۰.۸۵۷ را نشان داد که نشان‌دهنده

<sup>1</sup> Wearable heat shock detection device

<sup>2</sup> Galvanic skin response

عملکرد مناسب یک سیستم خبره است. پژوهش یاد شده مبتنی بر اندازه‌گیری فاکتورهای فیزیکی بدن شامل وزن و قد و سابقه بیماری و در نظر گرفتن وراثت (خانواده درجه یک با سابقه بیماری) است و به دلیل عدم استفاده از آزمایش‌های خونی و عصبی دقیق از کارایی لازم برخوردار نیست.

در پژوهشی دیگر، مایز و همکاران [۱۹] به بررسی بهبود تشخیص فعالیت با استفاده از سنسور فشارسنج پوشیدنی در بیماران مبتلا به سکته مغزی با اختلال حرکتی پرداختند. آنان به منظور بهبود تشخیص فعالیت (نشستن، ایستادن، راه رفتن، دراز کشیدن) به ادغام داده‌های BP، حسگرهای اینرسی و ارتفاع (در هنگام بالا رفتن از پله‌ها یا هنگام سوار شدن به آسانسور) پرداختند؛ و با در نظر گرفتن تغییرات ارتفاع تنه در طول انتقال وضعیت (نشستن به ایستادن، ایستاده به نشستن)، یک طبقه‌بندی مبتنی بر رویداد فعالیت را بر اساس منطق فازی ابداع کردند. پژوهش یاد شده مبتنی بر اندازه‌گیری دائمی فشار خون بوده و از سایر ویژگی‌های مهم چشم‌پوشی نموده است. این پژوهش به دلیل عدم استفاده از آزمایش‌های خونی و عصبی دقیق از کارایی لازم برخوردار نیست.

در ادامه، مقصود و همکاران [۲۰] در پژوهش خود، یک رویکرد کارآمد برای تشخیص تومور مغزی را با استفاده از منطق فازی مبتنی بر تشخیص لبه و روش طبقه‌بندی شبکه عصبی کانولوشنال (U-NET (CNN) پیشنهاد می‌کنند. سیستم تقسیم‌بندی تومور پیشنهادی مبتنی بر بهبود تصویر، تشخیص لبه مبتنی بر منطق فازی و طبقه‌بندی است. تصاویر ورودی با استفاده از افزایش کنتراست پیش‌پردازش شده و روش تشخیص لبه مبتنی بر منطق فازی برای شناسایی لبه در تصاویر منبع و تبدیل موجک پیچیده درختی دوگانه (DTCWT)<sup>۱</sup> در سطوح مقیاس مختلف استفاده می‌شود. ویژگی‌های دلخواه، از تصاویر زیر باند پوسیده محاسبه می‌شوند؛ سپس با استفاده از طبقه‌بندی U-NET CNN که تصاویر مننژیوم و غیرمننژیوم مغز را تشخیص می‌دهد، دسته‌بندی می‌گردند. روش پیشنهادی با استفاده از دقت، حساسیت، ویژگی و شاخص ضریب تاس ارزیابی می‌شود. مطالعه شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تکنیک پیشنهادی عملکرد بهتری را هم از نظر بصری و هم از نظر کمی در مقایسه با سایر روش‌ها به دست می‌آورد.

همان‌طور که در پیشینه پژوهشی بیان شد، پژوهش کمی در خصوص پیش‌بینی سکته مغزی صورت گرفته و موارد انجام شده به دلیل عدم استفاده از فاکتورهای مهمی چون سنجش انتگرال‌های باند بالا و پایین نوار قلبی و آزمایش‌های پلاسماي خون از دقت کافی برخوردار نیستند.

در این پژوهش به آرایه یک مدل برای بیان حالت رشته‌ای از شاخص سکته پرداخته شد. در این روش، با محاسبه قدر مطلق حداقل فاصله شاخص سکته (Stroke Index) از مقادیر موجود، به بیان نوع وضعیت سلامت (condition) هر فرد مبادرت شد. با استفاده از شبیه‌سازی‌های انجام شده و نتایج به‌دست آمده دیده شد که میزان انحراف از وضعیت نرمال چه در جهت افزایش و چه در جهت کاهش شاخص‌های سلامتی، به یک میزان نامطلوب خواهد بود.

جدول ۱. نتایج آزمایشات در گروه کنترل (شاهد) و بیماران مبتلا به سکته در نواحی مختلف [۲۱].

پارامتر (واحد)	گروه کنترل	مرحله فوق حاد		مرحله حاد		مرحله غیر حاد		مرحله مزمن
		مدولار	غیرمدولار	مدولار	غیرمدولار	مدولار	غیرمدولار	
RR (ms)	± ۸۹۷	± ۸۴۷	± ۹۵۷	± ۸۵۶	± ۹۴۵	± ۷۵۵	± ۷۹۵	± ۹۴۳
	۱۱۹	۱۶۳	۱۵۳	۱۶۱	۱۳۹	ad <sub>۱۰۰</sub>	a <sub>۱۳۹</sub>	(۸)
	(۱۷)	(۱۲)		(۱۱)	(۱۶)	(۸)	(۱۲)	(۶)

<sup>1</sup> Dual tree complex wavelet transform

پارامتر (واحد)	گروه کنترل	مرحله فوق حاد		مرحله حاد		مرحله غیر حاد		مرحله مزمن
		مدولار	غیرمدولار	مدولار	غیرمدولار	مدولار	غیرمدولار	
HFB (ms <sup>2</sup> )	± ۲,۱۸۲	± ۶۹۵	± ۱,۸۳۱	± ۱,۳۶۰	± ۱,۸۳۴	± ۱,۶۳۷	± ۱,۷۴۴	± ۱,۹۷۷
	۱,۰۵۸	<sup>c</sup> ۳۳۷	۱,۲۶۲	۸۴۰	۱,۳۱۸	۷۶۱	۱,۲۴۹	۱,۳۵۹
	(۱۶)	(۱۲)	(۱۶)	(۱۱)	(۱۵)	(۸)	(۱۲)	(۶)
LFB (ms <sup>2</sup> )	± ۲,۸۴۸	± ۱,۱۴۹	± ۲,۴۰۳	± ۱,۳۷۹	± ۲,۳۷۷	± ۱,۵۷۹	± ۲,۲۷۷	± ۱,۹۹۱
	۱,۹۲۱	<sup>b,e</sup> ۵۵۳	۱,۴۹۵	<sup>a</sup> ۴۳۶	۱,۳۶۷	۶۷۹	۱,۵۴۸	۷۱۲
	(۱۷)	(۱۲)	(۱۶)	(۱۱)	(۱۵)	(۸)	(۱۲)	(۶)
LFB/HFB	± ۱,۵۴۲	± ۱,۹۹۷	± ۱,۵۱۸	± ۱,۳۶۹	± ۱,۵۲۹	± ۱,۰۰۳	± ۱,۴۳۳	± ۱,۹۱۴
	۰,۸۷۲	۱,۱۱۹	۰,۴۶۳	۰,۸۶۷	۰,۴۷۷	۰,۲۹۹	۰,۶۳۸	۰,۸۲۱
	(۱۶)	(۱۲)	(۱۶)	(۱۱)	(۱۵)	(۸)	(۱۲)	(۸)
NEP (nmol/l)	± ۰,۸۲۹	± ۱,۲۰۵	± ۱,۰۵۳	± ۰,۵۹۵	± ۱,۰۹۸	± ۱,۶۲۵	± ۱,۴۱۱	± ۱,۹۷۰
	۰,۳۵۷	۰,۸۲۱	۰,۵۸۷	<sup>d</sup> ۰,۲۷۹	۰,۶۳۹	۰,۳۲۵	۱,۳۵۱	۰,۵۵۳
	(۱۶)	(۱۲)	(۱۶)	(۸)	(۱۳)	(۸)	(۱۰)	(۶)
EP (nmol/l)	± ۰,۱۳۹	± ۰,۲۱۵	± ۰,۲۷۰	± ۰,۱۳۶	± ۰,۲۴۸	± ۰,۱۰۶	± ۰,۲۶۵	± ۰,۱۶۳
	۰,۰۷۶	۰,۱۶۱	<sup>b</sup> ۰,۱۱۵	<sup>e</sup> ۰,۰۴۸	<sup>b</sup> ۰,۰۷۵	<sup>d</sup> ۰,۰۴۵	۰,۱۸۱	۰,۰۵۲
	(۱۶)	(۱۲)	(۱۶)	(۸)	(۱۳)	(۸)	(۱۰)	(۶)

همان‌طور که در جدول ۱ آمده است، مقادیر درون پراتنز بیانگر تعداد بررسی انجام شده است. که در آن، فواصل زمانی پارامترهای نوسانی خودمختار قلب (RR) بر حسب میلی ثانیه، انتگرال روی HFB و LFB بر حسب مجذور میلی ثانیه، نسبت سمپاتوگال LFB/HFB (بی بعد) و مقادیر کاتکولامین‌های پلاسما (نوراپی نفرین (NEP) و اپی نفرین (EP)) بر حسب نانومول در لیتر برای بیماران مبتلا به سکته مغزی در مراحل و نواحی وقوع مختلف و یک گروه کنترل سالم بر اساس آزمون دو نمونه‌ای من ویتنی<sup>۱</sup> بیان شده است. همچنین، مقادیر بالانویس‌های a,b,c بیانگر میزان اختلاف در قیاس با گروه کنترل ( $p < 0.001$ ،  $p < 0.005$ ،  $p < 0.05$ ) و d,e بیانگر میزان اختلاف در قیاس با گروه دچار سکنه مغزی غیر مدولار است ( $p < 0.005$ ،  $p < 0.05$ ).

## روش تحقیق

در این بخش، با استفاده از داده‌های جدول ۱، که حاصل پژوهشی جامع بر روی اعصاب مرکزی و پارامترهای مربوط به سکنه مغزی است، به طراحی یک سیستم فازی بر پایه استلزام تاکاگی سوگنو پرداخته می‌شود. ورودی‌های سیستم فازی شش متغیر موجود در جدول یاد شده است؛ که به صورت (RR, HFB, LFB, LFB/HFB, NEP, EP) انتخاب می‌شود. مقدار این متغیرها در ۹ گروه از افراد (سالم، افراد با سکنه در فازهای فوق حاد، حاد، غیرحاد و مزمن در حالت‌های مدولار و غیر مدولار) به عنوان توابع عضویت مثلثی مدل گردید.

در این قسمت، بیماران مبتلا به سکنه مدولار که نوع سکنه در آنها بیشترین تأثیر را بر روی عملکرد سیستم عصبی خودمختار دارد، با عدد «یک» شبیه‌سازی می‌شوند. بیماران مبتلا به سکنه غیر مدولار که نوع سکنه در آنها میزان تأثیر

<sup>1</sup> Mann-Whitney

کمتری را بر روی عملکرد سیستم عصبی خودمختار دارد، با عدد «۰/۴» شبیه‌سازی می‌شوند و در نهایت گروه شاهد و یا کنترل، که در سلامت کامل به سر می‌برند، با شاخص صفر نشان‌گذاری می‌شوند. حال با طراحی و پیاده‌سازی یک سیستم فازی می‌توان وضعیت هر فردی را با شاخصی بین صفر و یک تخمین زد که در آن شاخص صفر بیانگر سلامت کامل و شاخص یک بیانگر سکته مغزی مدولار و اختلال در عملکرد سیستم عصبی خودمختار خواهد بود.

### مدلسازی سیستم فازی

سیستم‌های فازی در مدلسازی رفتاری سیستم‌های مختلف با پیچیدگی‌های بالا دارای بازدهی و عملکرد قابل قبولی می‌باشند. یکی از روش‌های طراحی سیستم فازی، تجزیه رفتارهای پیچیده سیستم به چند رفتار در محدوده تغییرات است. پس از طراحی الگوریتم مناسب برای هر بخش، اقدامات متناظر آنها را می‌توان با هم ترکیب نمود. در این پژوهش، سیستم فازی به‌گونه‌ای طراحی می‌شود که بتواند با تعیین ضریب سکته (Stroke Index)، شانس ابتلا به بیماری سکته در ساقه مغز و از کار افتادن اعصاب خودمختار را پیش‌بینی کند. این کنترلر براساس قوانین اگر-آن‌گاه به فرم ذیل طراحی می‌گردد:

$$\text{If } S_i \text{ is A and } X_j \text{ is B, then } U_i \text{ is C} \quad (1)$$

عملگرهای and و or به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A(u), \mu_B(u)) \quad (2)$$

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A(u), \mu_B(u)) \quad (3)$$

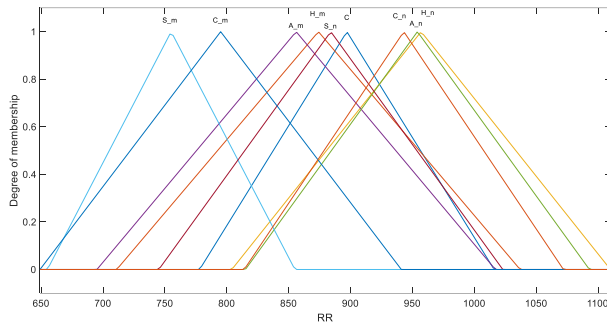
در سیستم پیشنهادی از منطق فازی تاکاگی - سوگنو همراه با روش فازی زدایی<sup>۱</sup> مرکز ثقل استفاده شد. در مرحله اول، سیستم فازی پس از دریافت ورودی‌ها، فرآیند فازی‌سازی را انجام می‌دهد، سپس براساس رابطه ۱ و استلزام تاکاگی - سوگنو با استفاده از عملگر فازی توابع عضویت ترکیب می‌گردد. در مرحله بعد، مقادیر توابع عضویت براساس رابطه ۲ با عملگر اجتماع ترکیب و خروجی‌ها فازی زدایی می‌شوند.

ورودی‌های سیستم فازی شش متغیر موجود در جدول ۱ است؛ که به صورت (LFB/HFB, LFB, HFB, RR) و مقدار این متغیرها در ۹ گروه از افراد (سالم)، افراد با سکته در فازهای فوق حاد، حاد، غیرحاد و مزمن در حالت‌های مدولار و غیر مدولار) به عنوان توابع عضویت مثلثی مدل گردید. به‌عنوان مثال مطابق آن چه در جدول ۱ آمده است، پارامتر RR در یک فرد سالم (۱۱۹ ± ۸۹۷) است. برای این حالت، تابع عضویتی مثلثی که مختصات رأس بالای مثلث (۸۹۷، ۱) و رئوس پایین مثلث (۸۹۷+۱۱۹، ۰) و (۸۹۷-۱۱۹، ۰) انتخاب شد.

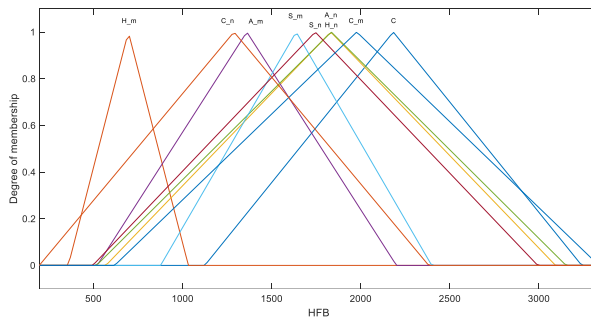
به‌منظور لحاظ نمودن دقت کافی، تمامی ورودی‌ها به صورت [C, Hm, Hn, Am, An, Sm, Sn, Cm, Cn] دارای تابع عضویت هستند که به ترتیب از راست به چپ بیانگر افراد با سکته در فاز مزمن (Chronic) در شکل‌های (medullar, non-medullar)، فاز غیرحاد (subacute) در شکل‌های (medullar, non-medullar)، فاز حاد (acute) در شکل‌های (medullar, non-medullar)، فاز فوق حاد (hyper acute) در شکل‌های (medullar, non-medullar) و در نهایت افراد سالم (Control) است.

<sup>1</sup> Defuzzification

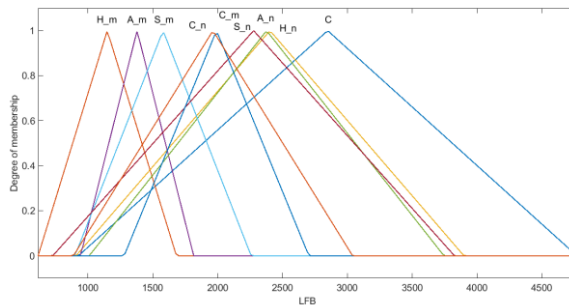
نمایش توابع عضویت برای ورودی‌های سیستم فازی در شکل‌های ۱ تا ۶ آمده است:



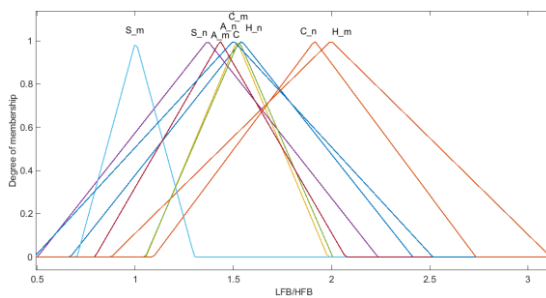
شکل ۱. توابع عضویت متغیر ورودی RR



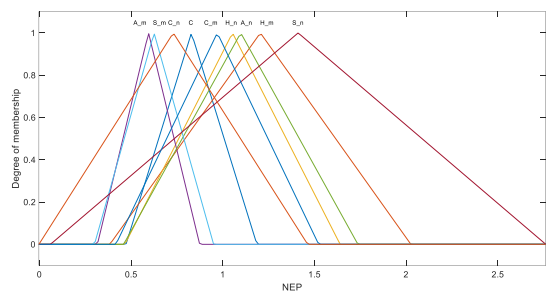
شکل ۲. توابع عضویت متغیر ورودی HFB



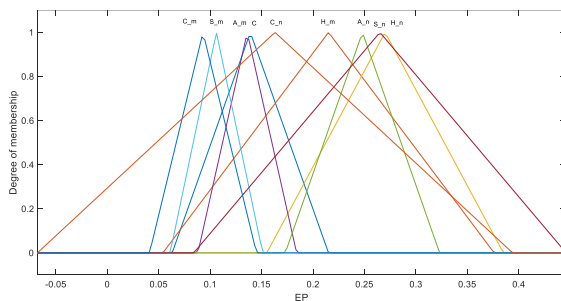
شکل ۳. توابع عضویت متغیر ورودی LFB



شکل ۴. توابع عضویت متغیر ورودی **LFB/HFB**.



شکل ۵. توابع عضویت متغیر ورودی **NEP**.



شکل ۶. توابع عضویت متغیر ورودی **EP**.

برای خروجی سیستم فازی که همان شاخص سکنه است، مطابق روش تاکاگی-سوگنو توابع ثابتی به صورت زیر انتخاب گردید:

$$[0, 0.1, 0.2, 0.25, 0.3, 0.4, 0.5, 0.75, 1] \quad (4)$$

قاعده کلی برای انتخاب چنین ترتیبی از اعداد چنین بود:  
 ۱- شاخص سکنه در افراد سالم، صفر است.

- ۲- شاخص سکتته در افراد با سکتته مدولار فوق حاد، یک است.
- ۳- شاخص سکتته در افراد با سکتته غیر مدولار فوق حاد، ۰/۴ است.
- ۴- بیماران مطابق مرحله بیماری از فوق حاد تا مزمن، به ۴ گروه طبقه‌بندی شده و به ترتیب ضریب ۱، ۰/۷۵، ۰/۵ و ۰/۲۵ در شاخص سکتته آنها ضرب می‌شود.
- با استفاده از منطق فازی و ترکیب "and" بین ورودی‌ها، مجموعه قوانین فازی برای استخراج شاخص سکتته مطابق با جدول ۲ انتخاب گردید.

جدول ۲. مجموعه قوانین فازی.

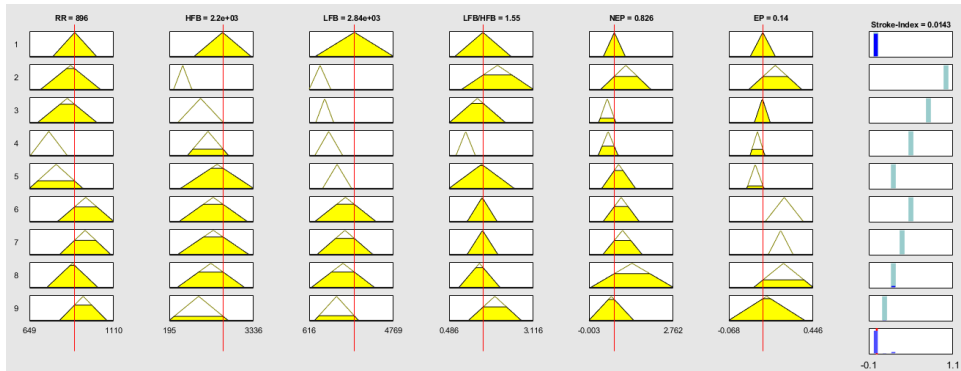
قانون	شاخص سکتته	EP	NEP	LFB/HFB	LFB	HFB	RR
۱	۰	C	C	C	C	C	C
۲	۱	Hm	Hm	Hm	Hm	Hm	Hm
۳	۰.۷۵	Am	Am	Am	Am	Am	Am
۴	۰.۵	Sm	Sm	Sm	Sm	Sm	Sm
۵	۰.۲۵	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm
۶	۰.۴	Hn	Hn	Hn	Hn	Hn	Hn
۷	۰.۳	An	An	An	An	An	An
۸	۰.۲	Sn	Sn	Sn	Sn	Sn	Sn
۹	۰.۱	Cn	Cn	Cn	Cn	Cn	Cn

شکل گسترده قوانین موجود در جدول ۲ مطابق با روابط ۵ است:

1. If (RR is C) and (HFB is C) and (LFB is C) and (LFB/HFB is C) and (NEP is C) and (EP is C) then (Stroke-Index is 0) (1)
2. If (RR is H<sub>m</sub>) and (HFB is H<sub>m</sub>) and (LFB is H<sub>m</sub>) and (LFB/HFB is H<sub>m</sub>) and (NEP is H<sub>m</sub>) and (EP is H<sub>m</sub>) then (Stroke-Index is 1) (1)
3. If (RR is A<sub>m</sub>) and (HFB is A<sub>m</sub>) and (LFB is A<sub>m</sub>) and (LFB/HFB is A<sub>m</sub>) and (NEP is A<sub>m</sub>) and (EP is A<sub>m</sub>) then (Stroke-Index is 0.75) (1)
4. If (RR is S<sub>m</sub>) and (HFB is S<sub>m</sub>) and (LFB is S<sub>m</sub>) and (LFB/HFB is S<sub>m</sub>) and (NEP is S<sub>m</sub>) and (EP is S<sub>m</sub>) then (Stroke-Index is 0.5) (1)
5. If (RR is C<sub>m</sub>) and (HFB is C<sub>m</sub>) and (LFB is C<sub>m</sub>) and (LFB/HFB is C<sub>m</sub>) and (NEP is C<sub>m</sub>) and (EP is C<sub>m</sub>) then (Stroke-Index is 0.25) (1) (۵)
6. If (RR is H<sub>n</sub>) and (HFB is H<sub>n</sub>) and (LFB is H<sub>n</sub>) and (LFB/HFB is H<sub>n</sub>) and (NEP is H<sub>n</sub>) and (EP is H<sub>n</sub>) then (Stroke-Index is 0.4) (1)
7. If (RR is A<sub>n</sub>) and (HFB is A<sub>n</sub>) and (LFB is A<sub>n</sub>) and (LFB/HFB is A<sub>n</sub>) and (NEP is A<sub>n</sub>) and (EP is A<sub>n</sub>) then (Stroke-Index is 0.3) (1)
8. If (RR is S<sub>n</sub>) and (HFB is S<sub>n</sub>) and (LFB is S<sub>n</sub>) and (LFB/HFB is S<sub>n</sub>) and (NEP is S<sub>n</sub>) and (EP is S<sub>n</sub>) then (Stroke-Index is 0.2) (1)
9. If (RR is C<sub>n</sub>) and (HFB is C<sub>n</sub>) and (LFB is C<sub>n</sub>) and (LFB/HFB is C<sub>n</sub>) and (NEP is C<sub>n</sub>) and (EP is C<sub>n</sub>) then (Stroke-Index is 0.1) (1)

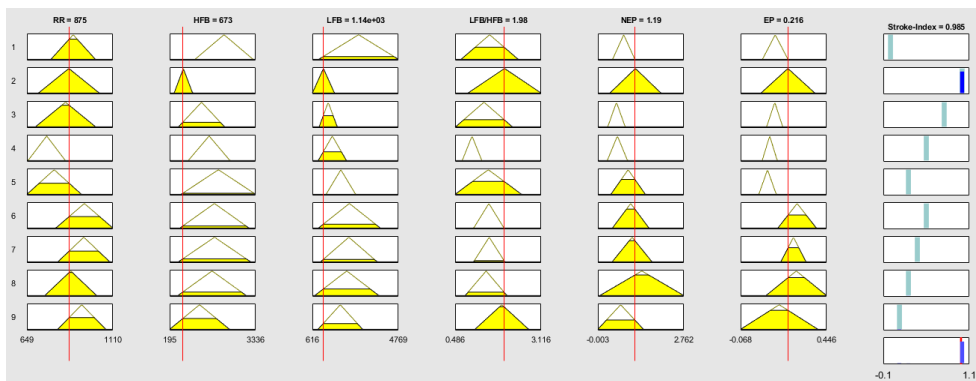
### شبیه‌سازی

به‌منظور سنجش عملکرد سیستم فازی طراحی شده، در ابتدا با تنظیم ورودی‌ها بر روی باند مرکزی افراد سالم، شاخص سکتته اندازه‌گیری شد. مقادیر ورودی و شاخص سکتته در شکل ۷ آمده است.



شکل ۷. مقادیر ورودی و شاخص سکته برای افراد سالم.

همان طور که در شکل ۷ مشخص است، شاخص سکته برای افراد سالم  $0/0143$  است. در ادامه، با تنظیم ورودی‌ها بر روی باند مرکزی بیماران با سکته مغزی مدولار در فاز فوق حاد، شاخص سکته اندازه‌گیری شد. مقادیر ورودی و شاخص سکته در شکل ۸ آمده است.

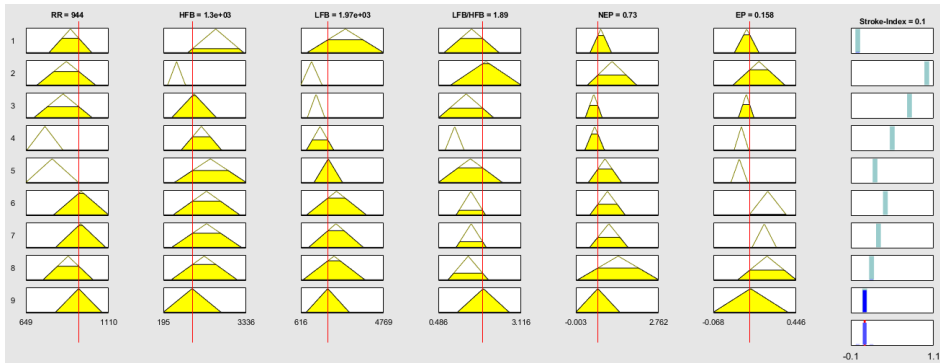


شکل ۸. مقادیر ورودی و شاخص سکته برای بیماران با سکته مغزی مدولار در فاز فوق حاد.

همان طور که در شکل ۸ مشخص است، شاخص سکته برای بیماران با سکته مغزی مدولار در فاز فوق حاد،  $0/985$  است. در ادامه، با تنظیم ورودی‌ها بر روی باند مرکزی بیماران با سکته مغزی غیرمدولار در فاز مزمن، شاخص سکته اندازه‌گیری شد. مقادیر ورودی و شاخص سکته در شکل ۹ آمده است.

همان طور که در شکل ۹ مشخص است، شاخص سکته برای بیماران با سکته مغزی مدولار در فاز فوق حاد،  $0/1$  است. این مقدار با آنچه مد نظر داشتیم، انطباق کامل دارد.

در بخش انتهایی شبیه‌سازی، به ارایه یک مدل برای بیان حالت رشته‌ای از شاخص سکته پرداخته شد. در این بخش، با محاسبه قدر مطلق حداقل فاصله شاخص سکته از مقادیر موجود در رابطه ۴، به بیان نوع وضعیت سلامت (condition) هر فرد مبادرت می‌شود. به‌عنوان مثال، برای یک فرد سالم با شاخص سکته  $0/0413$ ، مقدار حداقل فاصله با مقادیر یاد شده محاسبه می‌شود و چون کمترین فاصله را با نقطه صفر دارد، وضعیت این فرد سالم (C) بیان می‌گردد.



شکل ۹. مقادیر ورودی و شاخص سگته برای بیماران با سگته مغزی غیرمدولار در فاز مزمن.

برای تست این بخش، چند ورودی دلخواه به متغیرها داده شده و خروجی برنامه گزارش گردید. مطابق نتایج قابل مشاهده در جدول ۳، چهار سری ورودی به سیستم فازی داده شد؛ و از آن خروجی‌های برنامه بیان شد. ورودی‌های هر سطر چنین است:

- ۱- در سطر اول، باند بالای ورودی‌های سیستم به‌عنوان ورودی به سیستم فازی داده شد. تمامی این اعداد، حداکثر مقدار ممکن برای هر ورودی هستند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، اگر ورودی‌های سیستم، تماماً در حالت ماکزیم باشند، شاخص سگته فرد،  $0/5$  بوده و وضعیت سلامت وی سگته مدولار در فاز غیر حاد خواهد بود.
- ۲- در سطر دوم، باند پایین ورودی‌های سیستم به‌عنوان ورودی به سیستم فازی داده شد. تمامی این اعداد، حداقل مقدار ممکن برای هر ورودی هستند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، اگر ورودی‌های سیستم، تماماً در حالت مینیمم باشند، شاخص سگته فرد،  $0/5$  بوده و وضعیت سلامت وی سگته مدولار در فاز غیر حاد خواهد بود.
- ۳- در سطر سوم، یک میانگین تقریبی از باند بالا و پایین برای ورودی‌های سیستم به‌عنوان ورودی به سیستم فازی داده شد. تمامی این اعداد، میانگین تخمینی هر ورودی هستند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، اگر ورودی‌های سیستم، تماماً در حالت میانگین تقریبی باشند، شاخص سگته فرد،  $0/29$  بوده و وضعیت سلامت وی سگته غیرمدولار در فاز حاد خواهد بود.
- ۴- در سطر چهارم، یک سری از اعداد دلخواه برای ورودی‌های سیستم به‌عنوان ورودی به سیستم فازی داده شد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، برای ورودی‌های دلخواه یاد شده، شاخص سگته فرد،  $0/2$  بوده و وضعیت سلامت وی سگته غیرمدولار در فاز غیرحاد خواهد بود.

مقایسه سطر اول و دوم یک نتیجه جالب به دست می‌دهد. بیان این مطلب که اگر شاخص‌های ورودی سیستم فازی در مقادیر حداکثر و یا حداقل باشند، وضعیت سلامت فرد و شاخص سگته یافت شده به یک میزان نامطلوب خواهد بود. شاید بتوان این مطلب را به بیان دیگر چنین گفت: میزان انحراف از وضعیت نرمال چه در جهت افزایش و چه در جهت کاهش شاخص‌های سلامتی، به یک میزان نامطلوب خواهد بود.

جدول ۳. ورودی‌های سیستم فازی و پاسخ برنامه متلب.

ردیف	RR	HFB	LFB	LFB/HFB	NEP	EP	خروجی برنامه
۱	۱۱۱۰	۳۳۳۶	۴۷۶۹	۳.۱۱۶	۲.۷۶۲	۰.۴۴۶	Stroke index = ۰.۵ Condition = Sm
۲	۶۴۹	۱۹۵	۶۱۶	۰.۴۸۶	-۰.۰۰۰۳	-۰.۰۶۸	Stroke index = ۰.۵

ردیف	RR	HFB	LFB	LFB/HFB	NEP	EP	خروجی برنامه
Condition = Sm							
۳	۹۴۹	۱۵۰۰	۲۶۱۶	۱.۷	۱.۳	۰.۲۵	Stroke index = ۰.۲۹۱۶۹
Condition = An							
۴	۸۰۰	۱۵۰۰	۳۰۰۰	۱.۵۴۲	۱.۲	۰.۲۳۱	Stroke index = ۰.۲
Condition = Sn							

## بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش یک روش برای شناسایی وضعیت سلامت فرد و تعیین شاخص سکته بسط داده شد. در ابتدا به استخراج شاخص‌های مؤثر بر سلامت دستگاه عصبی خودمختار پرداخته شد. سپس با استفاده از این داده‌ها و استفاده از یک منطق فازی، میزان عملکرد صحیح دستگاه عصبی خودمختار را با پارامترهایی در نوار قلب، مغز و سنجش پلاسماي خون تخمین زده شد. این تخمین به شناسایی وضعیت بیمار و نزدیکی و دوری وی به سکته مغزی کمک می‌کند. در این پژوهش، به ارایه یک مدل برای بیان حالت رشته‌ای از شاخص سکته پرداخته شد. در این روش، با محاسبه قدر مطلق حداقل فاصله شاخص سکته (Stroke Index) از مقادیر موجود در رابطه ۴، به بیان نوع وضعیت سلامت (condition) هر فرد مبادرت شد. با استفاده از شبیه‌سازی‌های انجام شده و نتایج به دست آمده دیده شد که میزان انحراف از وضعیت نرمال چه در جهت افزایش و چه در جهت کاهش شاخص‌های سلامتی، به یک میزان نامطلوب خواهد بود.

روش ارائه شده برای مدل‌سازی سیستم فازی بر اساس منطق تاکاگی سوگنو بوده و از توابع عضویت مثلثی استفاده شده است. تغییر توابع عضویت به شکل گاوسی و یا تغییر منطق فازی به نوع ممدانی از زمینه‌های بالقوه برای پژوهش پیرامون افزایش دقت سیستم است. در عین دقت در گستردگی داده‌های عددی استفاده شده در این پژوهش، پارامتری چون میزان سن بیماران در نظر گرفته نشده است. در ادامه، آزمایش‌های بالینی بیشتر و در دست داشتن داده‌های عددی گسترده‌تر می‌تواند در افزایش دقت سیستم تأثیرگذار باشد. با وجود تمام کاستی‌ها، این پژوهش می‌تواند راهکاری مطمئن برای سنجش سلامت افراد تلقی گردد.

## References

- [1] Zhao, M., Guan, L., Collet, J-P., & Wang, Y. (2020). Relationship between ischemic stroke locations, etiology subtypes, neurological outcomes, and autonomic cardiac function. *Neurological Research*, 42(8), 630-639. <https://doi.org/10.1080/01616412.2020.1782103>
- [2] De Raedt, S., De Vos, A., & De Keyser, J. (2015). Autonomic dysfunction in acute ischemic stroke: An underexplored therapeutic area? *Journal of the Neurological Sciences*, 348(1-2), 24-34. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2014.12.007>
- [3] Gu, Y. W., Poste, J., Kunal, M., Schwarcz, M., & Weiss, I. (2017). Cardiovascular manifestations of pheochromocytoma. *Cardiology in Review*, 25(5), 215-222. <https://doi.org/10.1097/CR.D.0000000000000141>
- [4] Jimenez-Ruiz, A., Racosta, J. M., Kimpinski, K., Hilz, M. J., & Sposato, L. A. (2021). Cardiovascular autonomic dysfunction after stroke. *Neurological Sciences*, 42(5), 1751-1758. <https://doi.org/10.1007/s10072-021-05128-y>
- [5] Singh, R. S., Saini, B. S., & Sunkaria, R. K. (2019). Arrhythmia detection based on time-frequency features of heart rate variability and back-propagation neural network. *Iran*

- Journal of Computer Science*, 2(4), 245-257. <https://doi.org/10.1007/s42044-019-00042-1>
- [6] Huff, S. R., Ahmed, S., Meng, H., Liu, T., Borjigin, J., & Wang, M. M. (2016). Impact of stroke on diurnal heart rate variability in rats. *bioRxiv*, 1-18. <https://doi.org/10.1101/071555>
- [7] Khan, A. A., Lip, G. Y. H., & Shantsila, A. (2019). Heart rate variability in atrial fibrillation: The balance between sympathetic and parasympathetic nervous system. *European Journal of Clinical Investigation*, 49(11), e13174. <https://doi.org/10.1111/eci.13174>
- [8] Hasan, T. F., Hasan, H., & Kelley, R. E. (2021). Overview of Acute Ischemic Stroke Evaluation and Management. *Biomedicines*, 9(10), 1486. <https://doi.org/10.3390/biomedicines9101486>
- [9] Kitamura, J., Ueno, H., Nagai, M., Hosomi, N., Honjo, K., Nakamori, M., Mukai, T., Imamura, E., Nezu, T., Aoki, S., Ohshita, T., Nomura, E., Wakabayashi, S., Maruyama, H., & Matsumoto, M. (2018). Blood Pressure Variability in Acute Ischemic Stroke: Influence of Infarct Location in the Insular Cortex. *European Neurology*, 79(1-2), 90-99. <https://doi.org/10.1159/000486306>
- [10] Romano, I. J., Lippolis, A., D'Anna, M., & Gentile, F. (2019). Cardiac Arrhythmias and Acute Cerebrovascular Events: A Case of QT Prolongation and Torsades de Pointes Early After Right Insular Stroke. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 28(11), 104308. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2019.104308>
- [11] Zhao, M., Guan, L., & Wang, Y. (2020). The Association of Autonomic Nervous System Function With Ischemic Stroke, and Treatment Strategies. *Frontiers in Neurology*, 10, 1411. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.01411>
- [12] Guan, L., Collet, J-P., Mazowita, G., & Claydon, V. E. (2018). Autonomic Nervous System and Stress to Predict Secondary Ischemic Events after Transient Ischemic Attack or Minor Stroke: Possible Implications of Heart Rate Variability. *Frontiers in Neurology*, 9, 90. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00090>
- [13] Nastasović, T., Milaković, B., Dostanić, M., Stošić, M., Kalimanovska-Oštrić, D., & Grujičić, D. (2015). Systemic complications of subarachnoid hemorrhage. *Serbian Journal of Anesthesia and Intensive Therapy*, 37(3-4), 189-196. <https://scindeks.ceon.rs/articled.aspx?artid=2217-77441504189N&lang=en>
- [14] Thal, S. C., Smetak, M., Hayashi, K., & Förster, C. Y. (2022). Hemorrhagic Cerebral Insults and Secondary Takotsubo Syndrome: Findings in a Novel In Vitro Model Using Human Blood Samples. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(19), 11557. <https://doi.org/10.3390/ijms231911557>
- [15] Islam, F. (2018, October 8-12). *A fuzzy logic based predictive model for early detection of stroke*. Proceedings of the 2018 ACM International Joint Conference and 2018 International Symposium on Pervasive and Ubiquitous Computing and Wearable Computers, Singapore. <https://doi.org/10.1145/3267305.3277838>
- [16] Islam, F., Shoilee, S. B. A., Shams, M., & Rahman, R. M. (2017). Potential Risk Factor Analysis and Risk Prediction System for Stroke Using Fuzzy Logic. In R. Silhavy, R. Senkerik, Z. Kominkova Oplatkova, Z. Prokopova, & P. Silhavy (Eds.), *Artificial Intelligence Trends in Intelligent Systems*. Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-57261-1\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-319-57261-1_26)
- [17] Chen, S-T., Lin, S-S., Lan, C-W., & Hsu, H-Y. (2018). Design and Development of a Wearable Device for Heat Stroke Detection. *Sensors*, 18(1), 17. <https://doi.org/10.3390/s18010017>

- [18] Laurentinus., Kiswanto., Sulaiman, R., Juniawan, F. P., Sylfania ,D. Y., Kurniawan, P., & Pradana, H. A. (2020, October 23-24). *Design Fuzzy Expert System And Certainty Factor In Early Detection of Stroke Disease*. 2020 8th International Conference on Cyber and IT Service Management, Pangkal, Indonesia. <https://doi.org/10.1109/CITSM50537.2020.9268830>
- [19] Massé, F., Gonzenbach, R. R., Arami, A., Paraschiv-Ionescu, A., Luft, A. R., & Aminian, K. (2015). Improving activity recognition using a wearable barometric pressure sensor in mobility-impaired stroke patients. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 12(1), 72. <https://doi.org/10.1186/s12984-015-0060-2>
- [20] Maqsood, S., Damasevicius, R., & Shah, F. M. (2021, September 13-16). *An Efficient Approach for the Detection of Brain Tumor Using Fuzzy Logic and U-NET CNN Classification*. The 21st International Conference on Computational Science and its Applications, Cagliari, Italy. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-86976-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-86976-2_8)
- [21] Meglič, B., Kobal, J., Osredkar, J., & Pogačnik, T. (2001). Autonomic Nervous System Function in Patients with Acute Brainstem Stroke. *Cerebrovascular Diseases*, 11(1), 2-8. <https://doi.org/10.1159/000047605>