

کنترل عمق بیهوشی بیمار با در دست داشتن شاخص دو طیفی در حین عمل با استفاده از کنترلر فازی

بتول دهقانی سامانی^۱، محمد رضا یوسفی نجف آبادی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

^۲ استادیار، دانشکده برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

چکیده

فرآیند کنترل سطح بیهوشی بیماران امری بسیار پیچیده، دشوار و مهم است؛ چرا که واقع بیهوشی مرز بین مرگ و زندگی بوده و کنترل کیفیت، دقت و سطح عملکرد آن بسیار مهم است. به همین دلیل تزریق دوز مناسب داروی بیهوشی به بیمار و دستیابی به عمق بیهوشی مطلوب همواره مساله مهمی برای متخصصان بیهوشی بوده است. و به همین دلیل تاکنون روش‌های متنوعی برای کنترل عمق بیهوشی بیماران، تعیین دوز صحیح دارو از جمله الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی، کنترل فازی و ... ارائه شده است. در میان این روش‌ها، روش کنترل فازی به دلیل تاثیر دانش فرد خبره در قوانین آن و تعیین دوز دارو، یکی از بهترین روش‌ها بر پایه‌ی دانش افراد خبره است. کنترل عمق بیهوشی مطلوب با کنترل میزان اعمال داروی بیهوشی به بیمار ایجاد می‌شود. کنترل کننده پیشنهادی در این کار، کنترل کننده فازی است که بر روی شاخص دوطیفی استخراج شده از EEG اجرا شده است..

واژه‌های کلیدی: کنترل کننده فازی، کنترل عمق بیهوشی، شاخص دو طیفی.

۱- مقدمه

به منظور رسیدن به میزان بهینه تزریق دارو، باید استراتژی‌های مدیریت و کنترل دارو توسعه یابد. پیشنهاد کنترل تحویل دارو به منظور حفظ حالت بیهوشی مناسب در حین عمل جراحی در دهه ۱۹۵۰ مطرح شد (Soltero, 1951). شاخص دوطیفی^۱ (BIS) یک سیستم مانیتورینگ نور و فیزیولوژیک است که بطور پیوسته منحنی الکتروانسفالوگرام بیمار را در طی مدت بیهوشی عمومی آنالیز کرده تا سطح هوشیاری و آگاهی بیمار مورد مطالعه قرار گیرد. شاخص دوطیفی، یکی از انواع فناوری پزشکی برای اندازه‌گیری عمق بیهوشی در یک فرد است و جایگزین سیستم گِدل شده است. شاخص دوطیفی در بیهوشی عمومی به هوشبر کمک می‌کند تا میزان عامل بیهوشی را با دقت بیشتری از بیمار تا بیمار دیگر تعیین کند. این تکنیک آمار به هوش آمدن در طول جراحی را به شدت پایین آورده است. به طور کلی شاخص دو طیفی امکان پایش عینی و مداوم سطح هوشیاری را فراهم می‌سازد. در دهه اخیر، برخی از الگوریتم‌های با استفاده از EEG و یا شاخص دوطیفی توسعه داده شده است (Esmaeili et al., 2007).

برای مقابله‌ی مؤثر با پیچیدگی روزافزون در بررسی، مطالعه، مدل‌سازی و حل مسائل جدید در فیزیک، مهندسی، پزشکی، زیست‌شناسی و بسیاری از امور گوناگون دیگر ایجاد و ابداع روش‌های محاسباتی جدیدی مورد نیاز شده‌است که بیشتر از پیش به شیوه‌های تفکر و تعلم خود انسان نزدیک باشد. هدف اصلی آن است که تا حد امکان، رایانه‌ها بتوانند مسائل و مشکلات بسیار پیچیده‌ی علمی را با همان سهولت و شیوایی بررسی و حل و فصل کنند که ذهن انسان قادر به ادراک و اخذ تصمیمات سریع و مناسب است. در جهان واقعیات، بسیاری از مفاهیم را آدمی به صورت فازی (به معنای غیر دقیق، ناواضح و مبهم) درک می‌کند و به کار می‌بندد. بنیاد منطق فازی بر نظریه مجموعه‌های فازی استوار است. این نظریه تعمیمی از نظریه کلاسیک مجموعه‌ها در علم ریاضیات است. قلب یک سیستم فازی یک پایگاه دانش بوده که از قواعد اگر-آنگاه فازی تشکیل شده‌است. برای هر دستور کار و خواسته عمل‌کرد مکانیکی، الکترومغناطیسی یا نرم افزاری و غیره که برای آن فرمول یا دستورالعمل مطلق و شفاف ریاضی وجود نداشته باشد و به‌ویژه زمانی که دستور کار به‌وسیله‌ی جملات انشاء شده باشد، نرم‌افزار متکی به منطق فازی راه‌گشا و کارآمد است. هدایت و کنترل هرگونه دستگاه و تأسیسات پویا و حرکت‌ساز را می‌توان با کمک منطق فازی به بهترین وجه اعمال نمود.

شاخص دوطیفی یکی از معیارهای اندازه‌گیری وضعیت الکتریکی قشر مغز است. مانیتورینگ BIS، نشان دهنده‌ی وضعیت الکتریکی قشر مغز مشابه با مانیتورینگ الکتروانسفالوگرام می‌باشد BIS. یک مانیتورینگ بدون واحد از الکتروانسفالوگرام است که از ۰ تا ۱۰۰ تقسیم بندی می‌شود. عدد واقعی BIS از بررسی بالینی وسیعی به‌دست آمده که در آن متغیرهای اختصاصی الکتروانسفالوگرام مشخص شده، بسیار نزدیک به ویژگی‌های بالینی مغزی در بیماران تحت بیهوشی یا تحت آرام بخش است. عدد BIS بطور رایج در بالین بعنوان معیاری از عمق بیهوشی عمومی و عدم پاسخ دهی در کسانی که تحت بیهوشی عمومی هستند به کار می‌رود. از آنجایی که مرحله‌ی ریکاوری و بیداری در بیماران سالمند با توجه به تغییرات فیزیولوژیک ناشی از روند پیری، کندتر از سایر گروه‌های سنی حاصل می‌شود در این رنج سنی بیشتر از این شاخص استفاده می‌گردد.

BIS یک روش قابل اعتماد و مناسب برای ارزیابی عمق بیهوشی برای تمام بیهوش‌کننده‌ها بوده، و در همه‌ی مراحل بیهوشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از تکنیک BIS در کاهش استفاده از داروهای بیهوشی مفید، امکان به هوش آمدن حین عمل و زمان ریکاوری را کاهش می‌دهد. روش‌های مرسوم و متداول جهت بررسی عمق بیهوشی در اتاق عمل اتکا بر تغییرات ضربان قلب، فشار خون، تغییرات اندازه‌ی مردمک، اشک ریزش و گاهی حرکت سر، اندام‌ها و تغییر در الگو تنفس می‌باشد که روش قابل اطمینانی نبوده و با تسکین درد بیمار که گاهی نیز عجلانه انجام می‌گیرد. همچنان میزان مناسب عمق بیهوشی بیمار قابل محاسبه نمی‌باشد. تحقیقات متعددی جهت تاثیر مانیتورینگ BIS انجام گرفته که نتایج تقریباً مشابهی را گزارش کرده‌اند؛ تحقیقات حاکی از آن است که مانیتورینگ BIS امکان اندازه‌گیری عمق بیهوشی و دوز دقیق داروها را فراهم ساخته،

¹ Bispectral index

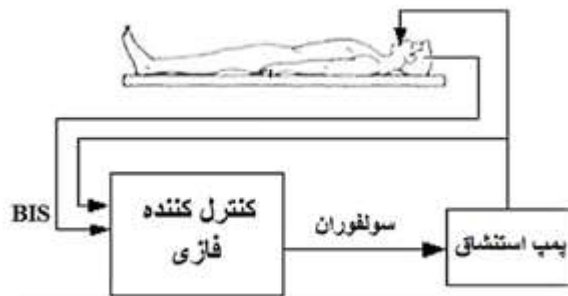
در نتیجه ضمن کاهش در مصرف دارو، از بروز عوارض ناخواسته نظیر تهوع و استفراغ پیشگیری و سبب تسریع در بیداری بیمار گردیده است که از نظر اقتصادی نیز می‌تواند مقرون به صرفه باشد. همچنین مطالعات دیگر نشان داده‌اند که تجویز داروهای هیپنوتیکی چون پروپوفول، دسفلوران و سووفلوران همراه با پایش عمق بیهوشی توسط BIS منجر به ریکاوری سریع‌تر بیماران از بیهوشی گردیده است. با این تعابیر استفاده از روش شاخص دوطیفی جهت طراحی کنترل‌کننده‌ی فازی، برای تجویز دقیق مقدار داروهای بیهوشی و تسریع در بیداری و ریکاوری بیماران از اهداف این تحقیق می‌باشد.

استفاده از کنترل‌کننده‌های مختلف مانند کنترل‌کننده فازی، کنترل مقاوم، شبکه عصبی، فازی-عصبی و ... در کارهای متفاوت بررسی و عملکردشان مورد تجزیه تحلیل قرار گرفته شده است (Yousefi, 2010)

از کنترل‌کننده‌های فازی برای کنترل عمق بیهوشی استفاده شده است (Abbod et al., 2001). طراحی سیستم شبکه عصبی برای کنترل هوشبر استنشاقی سووفلوران با استفاده از داده‌های طیف توان EEG و داده‌های ضربان قلب ۲۵۰ بیمار طراحی شده است (Tosun et al., 2012). به طور کلی سه شاخص اصلی برگرفته از سیگنال الکتروانسفالوگرام عبارتند از: طیف آنتروپی، شاخص هوشیاری و شاخص دو طیفی.

۲- ساختار سیستم حلقه بسته

ساختار سیستم حلقه بسته شامل مدل بیمار، کنترل‌کننده فازی و پمپ استنشاق می‌باشد. شکل ۱ سیستم حلقه بسته بیهوشی براساس شاخص BIS را نشان می‌دهد.



شکل ۱. ساختار سیستم حلقه بسته کنترل‌کننده

در شکل ۱، BIS بصورت ورودی کنترل‌کننده فازی اعمال می‌شود و در کنترل‌کننده به کمک قوانین فازی شروط نوشته شده و نهایتاً خروجی آن بصورت میزان مقدار گاز سووفلوران به پمپ استنشاق اعمال می‌شود. همانطور که قبلاً اشاره شد، شاخص BIS مقداری مابین صفر تا ۱۰۰ دارد بدین ترتیب میزان ۷۰ الی ۱۰۰ را حالت طبیعی، ۴۰ الی ۷۰ را بیهوشی و پایین‌تر از مقدار ۴۰ را بیهوشی عمیق می‌نامیم. پس ورودی کنترل‌کننده فازی را بصورت سه پارامتر نرمال^۲، بیهوشی^۳ و بیهوشی عمیق^۴ تعریف می‌کنیم و به اختصار بصورت DS, S, N دسته بندی می‌کنیم.

۳- کنترل‌کننده فازی

² Normal

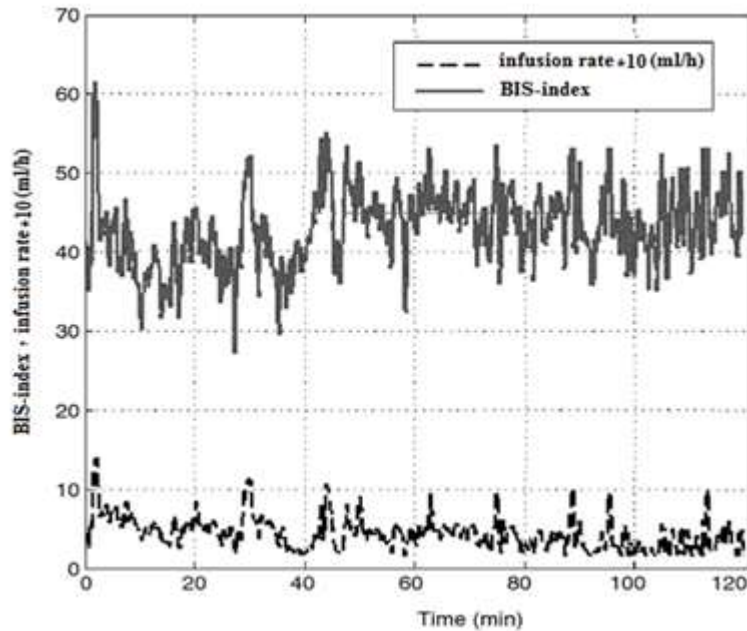
³ Sleep

⁴ Deep Sleep

در کنترل کننده فازی قوانین زبانی فازی که براساس داده‌های موجود در (Kovacic et al., 2005)، که عبارتند از تغییرات میزان تزریق ماده بیهوشی سووفلوران به شاخص دو طیفی، تعیین می‌شود. شکل ۲ نمایانگر داده‌های مربوطه می‌باشد. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، بیهوشی طی یک عمل ۲ ساعته انجام شده و همچنین میزان نرخ تزریقی سووفلوران نیز رسم شده است. میزان نرخ تزریق انجام شده بین ۰/۳ تا ۱/۴ میلی لیتر در ساعت می‌باشد و به جهت نمایش بهتر آن مقادیر نرخ تزریق ضربدر مقدار ۱۰ شده است.

۱-۳- ایجاد پایگاه داده فازی

با توجه به شکل ۲ که از مرجع (Kovacic et al., 2005) به دست آمده است، روابط زبانی فازی استخراج شده است. میزان نرخ تزریق ماده بیهوشی سووفلوران براساس مقدار آن در شکل ۲، به ۳ پارامتر کم^۵ (L)، متوسط^۶ (M) و زیاد^۷ (H) دسته بندی می‌شود. جدول ۱ نشان دهنده این مقادیر می‌باشد. میزان دوز تزریق^۸ (IR) می‌باشد که به اختصار نوشته شده است و واحد آن میلی لیتر بر ساعت می‌باشد. شاخص دو طیفی نیز طبق جدول ۲ به صورت فازی در آمده است.



شکل ۲. مقایسه میزان تزریق ماده سووفلوران به شاخص دو طیفی

جدول ۱. پارامترهای میزان تزریق سووفلوران

$0 \leq IR < 0.7$	L
$0.7 \leq IR < 1$	M

⁵ Low

⁶ Medium

⁷ High

⁸ Infusion Rate

$IR \leq 1$	H
-------------	---

جدول ۲. پارامترهای شاخص دوطیفی

$70 \leq BIS < 100$	N
$40 \leq BIS < 70$	S
$BIS < 40$	DS

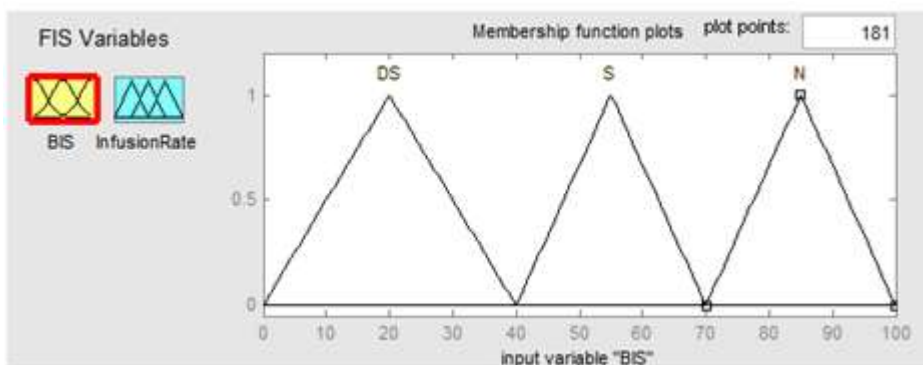
۳-۲- ایجاد قوانین فازی

برای ایجاد قوانین فازی از شکل ۲، دوازده داده بر اساس زمان‌های ۱۰ الی ۱۲۰ دقیقه (هر ۱۰ دقیقه یک داده) استخراج و به کمک این دوازده نوع داده قوانین فازی مربوط به آن نوشته شده است.

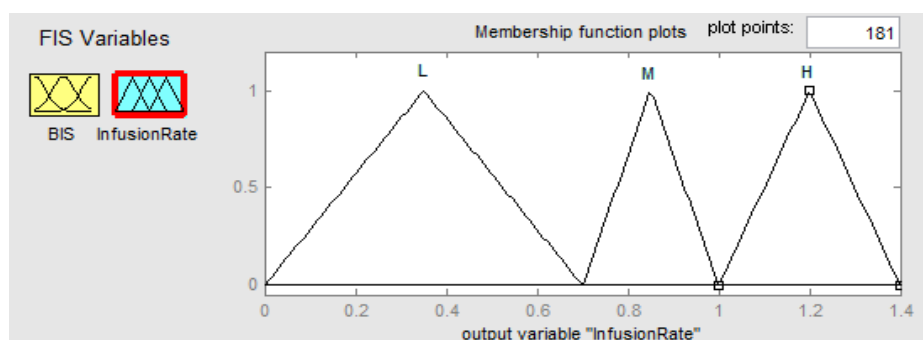
(۱)	If	Input1=DS	then	Output1=L
(۲)	If	Input1=S	then	Output1=M
(۳)	If	Input1=S	then	Output1=H
(۴)	If	Input1=DS	then	Output1=L
(۵)	If	Input1=S	then	Output1=M
(۶)	If	Input1=S	then	Output1=L
(۷)	If	Input1=S	then	Output1=L
(۸)	If	Input1=S	then	Output1=L
(۹)	If	Input1=S	then	Output1=L
(۱۰)	If	Input1=DS	then	Output1=L
(۱۱)	If	Input1=DS	then	Output1=L
(۱۲)	If	Input1=S	then	Output1=L

۴- شبیه سازی

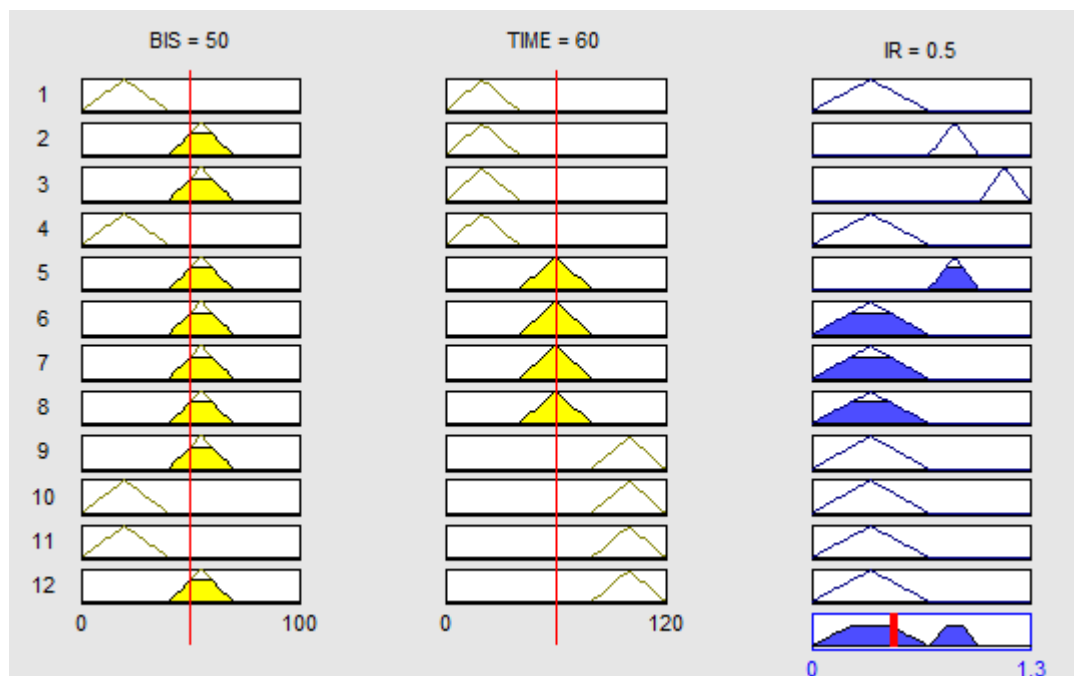
با توجه به قوانین ارائه شده در قسمت قبلی به شبیه سازی کنترل کننده فازی پرداخته شده است. با استفاده از Fuzzy Toolbox نرم افزار MATLAB شبیه سازی‌ها انجام شده است. در مرحله اول ورودی که همان شاخص دوطیفی می‌باشد و مطابق جدول ۲ ارائه شده است بصورت پارامترهای فازی درآورده شده است. در شبیه سازی یک FIS ایجاد می‌شود. توابع عضویت ورودی و خروجی را مطابق جداول تنظیم شده است. تابع عضویت مثلثی همانند شکل ۴ و ۵ در نظر گرفته شده است. در شکل ۶ قوانین تنظیمی ورودی‌ها نشان داده شده است.



شکل ۴. تابع عضویت ورودی (شاخص دوطیفی)



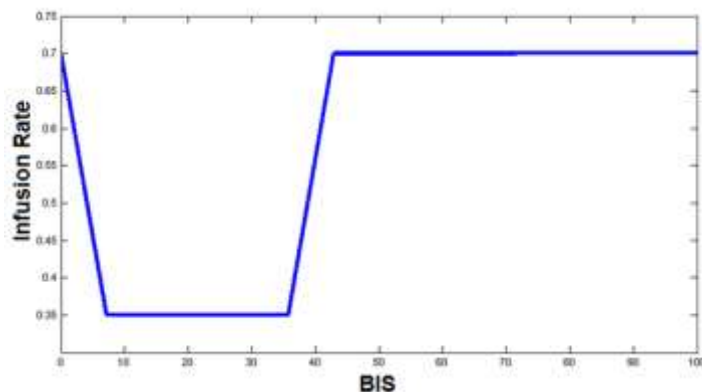
شکل ۵. تابع عضویت خروجی (نرخ تزریق سوپلوران)



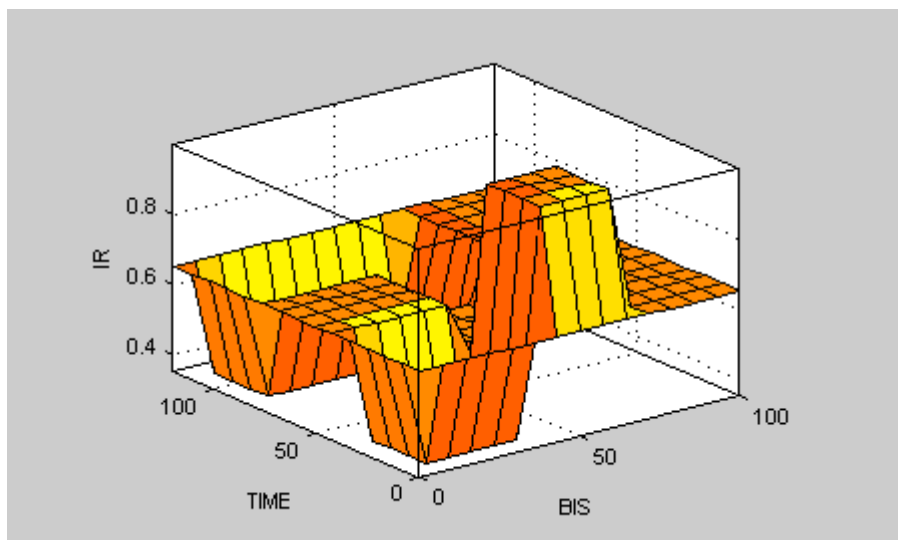
شکل ۶. قوانین ورودی ها

در ادامه شبیه سازی مربوط به تنظیم قوانین زبانی، فازی می شود و به کمک دستور ruleedit اجرا شده است. در نهایت ارتباط فازی ایجاد شده میان مقدار شاخص دوطیفی و میزان نرخ تزریق ماده سوپلوران بصورت شکل ۷ نمایش داده می شود. اگر

مقدار زمان عمل نیز به عنوان ورودی کنترل کننده فاز در نظر گرفته شود، نمایش سه بعدی ارتباط فاز در میان زمان عمل، شاخص دوطیفی و میزان تزریق سووفلوران بصورت شکل ۸ خواهد بود؛ براساس شکل ۲ مدت زمان عمل ۱۲۰ دقیقه در نظر گرفته شده است.



شکل ۷. ارتباط فاز در میان شاخص دوطیفی و نرخ تزریق ماده سووفلوران



شکل ۸. ارتباط فاز در میان شاخص دوطیفی، مدت زمان عمل و نرخ تزریق ماده سووفلوران

۵- بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی و شبیه سازی شاخص دو طیفی یک بیمار در حین عمل با استفاده از نرم افزار MATLAB پرداخت شد. با توجه به اینکه شاخص دوطیفی مستخرج از سیگنال های مغزی می باشد، لذا نسبت به استفاده از دیگر پارمترهای مورد استفاده در عمل همانند ضربان قلب و فشار خون و ... قابلیت اعتماد بیشتری دارد.

منابع

1. D. Soltero, A. Faulconer Jr, and R. Bickford, "The clinical application of automatic anesthesia," Anesthesiology, vol. 12, p. 574, 1951.

2. Esmaeili V, Shamsollahi MB, Arefian NM, Assareh A. Classifying depth of anesthesia using EEG features, a comparison. 29th Annual International Conference of the IEEE in Medicine and Biology Society; 2007; Lyon, France.
3. Kovacic, Zdenko, and Stjepan Bogdan. Fuzzy controller design: theory and applications. Vol. 19. CRC press, 2005.
4. M. F. Abbod, D. G. von Keyserlingk, D. A. Linkens, and M. Mahfouf, "Survey of utilisation of fuzzy technology in medicine and healthcare," Fuzzy Sets and Systems, vol. 120, pp. 331-349, 2001.
5. M. Tosun, A. Ferikoğlu, R. Güntürkün, and C. Ünal, "Control of sevoflurane anesthetic agent via neural network using electroencephalogram signals during anesthesia," Journal of medical systems, vol. 36, pp. 451-456, 2012.
6. MR Yousefi, MB Poudeh, S Eshtehardiha. Improvement performance of step-down converter through intelligent controllers. 4th International IEEE Conference Intelligent Systems; 2008.