

Smart Grid to Monitor Breast Cancer Patient Status

Mohammad Ali Pourmina, Associate Professor¹  | Javad Nouri-Pour, Ph.D. Student ²  | Mohammad Naser-Moghaddasi, Professor³  | Behbod Ghalamkari, Associate Professor⁴ 

¹Department of Electrical and Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University (IAU), Tehran, Iran, pourmina@srbiau.ac.ir

²Department of Electrical and Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University (IAU), Tehran, Iran, javad.nooripoor@srbiau.ac.ir

³Department of Electrical and Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University (IAU), Tehran, Iran, mn.moghaddasi@srbiau.ac.ir

⁴Department of Electrical and Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University (IAU), Tehran, Iran, mghalamkari@srbiau.ac.ir

Correspondence

Mohammad Ali Pourmina, Associate Professor of Electrical and Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University (IAU), Tehran, Iran, pourmina@srbiau.ac.ir

Received: 21 April 2022

Revised: 25 June 2022

Accepted: 18 July 2022

Abstract

Immediate monitoring of the patient has always been very important. Achieving this knowledge, which can be integrated to monitor damaged tissue, is very important. In previous methods, the tissue was monitored using a sensor. In this article, not only is a tissue monitored using a sensor, but also the monitoring and evaluation of the effect of other tissues on tumor tissue is evaluated. The smart grid discussed in this article is designed to monitor the condition of a patient with a breast tumor. The structure of the smart grid, given the weight of the communication paths between the nodes and the ability of the nodes, shows us a strong network to assess the patient's condition. As the patient's condition changes, the nodes and weights of the communication pathways change, indicating that there is important information in the network and helping specialists to better assess the condition of the disease. Network monitoring is such that the evaluator node continuously evaluates the tumor node, by changing the status of the tumor node, the status of other nodes and communication paths between them changes, the result of changes in the network by the node The evaluator is evaluated. The simulation results show that this network has the necessary intelligence to assess the patient's condition in adverse conditions.

Keywords: Nodes, Breast Tumor, Communication Weight, Network Capability Arrangement.

Highlights

- Investigating the effect of healthy tissue on tumor tissue in the patient monitoring network
- Using a trainable network to measure these effects of healthy tissues on tumor tissue
- Using evaluator nodes in this network, in order to evaluate the patient monitoring network

Citation: M. A. Pourmina, J. Nouri Pour, M. Naser-Moghaddasi, and B. Ghalamkari, "Smart Grid to Monitor Breast Cancer Patient Status," *Journal of Southern Communication Engineering*, vol. 12, no. 46, 2022, doi: 10.30495/jce.2022.692618, (in Persian).

مقاله پژوهشی

شبکه هوشمند برای نظارت وضعیت بیمار سرطان سینه

محمد علی پورمینا*^۱ | جواد نوری پور^۲ | محمد ناصر مقدسی^۳ | بهبه قلمکاری^۴

چکیده:

همواره نظارت بلادرنگ بر بیمار بسیار مورد اهمیت بوده است. دست‌یابی به این دانش که به‌صورت یکپارچه بتوان بر بافت آسیب‌دیده نظارت داشت، کار بسیار مهم هست. در روش‌های قبلی با استفاده از یک حسگر بر بافت مورد نظر نظارت می‌شد. در این مقاله نه تنها با استفاده از یک حسگر بر بافت نظارت می‌شود بلکه نظارت و ارزیابی تأثیر بافت‌های دیگر، بر بافت تومور مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. شبکه هوشمند که در این مقاله مطرح شده است، به‌منظور نظارت بر وضعیت بیمار دارای تومور سینه طراحی شده است. ساختار شبکه هوشمند با توجه به نوع وزن مسیره‌های ارتباطی بین گره‌ها و توانایی گره‌ها یک شبکه نیرومند برای ارزیابی وضعیت بیمار را به ما نشان می‌دهد. با تغییر وضعیت بیمار، گره‌ها و وزن مسیره‌های ارتباطی تغییر می‌کند که این نشان می‌دهد که اطلاعات مهمی در شبکه وجود دارد و به متخصصان کمک می‌کند تا بتوانند بهتر وضعیت بیماری را مورد بررسی قرار دهند. نظارت شبکه به این صورت است که به‌صورت مداوم گره ارزیاب، گره تومور را ارزیابی می‌کند، با تغییر وضعیت گره تومور، وضعیت سایر گره‌ها و مسیره‌های ارتباطی بین آن تغییر می‌کند، نتیجه تغییرات در شبکه به‌وسیله گره ارزیاب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که این شبکه از هوشمندی لازم برای ارزیابی وضعیت بیمار در شرایط نامطلوب را دارا هست.

کلیدواژه‌ها: گره‌ها، تومور سینه، وزن ارتباطی، آرایش توانمندی شبکه.

^۱ دانشکده: مکانیک، برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران
pourmina@srbiau.ac.ir

^۲ دانشکده: مکانیک، برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران
javad.noori@yahoo.com

^۳ گروه برق، واحد میاندوآب، دانشگاه آزاد اسلامی، میاندوآب، ایران دانشکده: مکانیک، برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران
mn.moghaddasi@srbiau.ac.ir

^۴ دانشکده: مکانیک، برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران
ghalamkari@srbiau.ac.ir

نویسنده مسئول

* محمد علی پورمینا، استادیار، دانشکده: مکانیک، برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران
pourmina@srbiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۱ اردیبهشت ۱۴۰۱

تاریخ بازنگری: ۴ تیر ۱۴۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۷ تیر ۱۴۰۱

<https://doi.org/10.30495/jce.2022.692618>

۱- مقدمه

در شرایط کنونی، شبکه‌ها نظارت پیشرفت‌های زیادی داشته است. شبکه، به پزشکان این توانایی را می‌دهد تا بتوانند علائم بیماری را تشخیص بدهند و راهکار مناسب برای درمان پیشنهاد کنند. آمنه العطاوی در مقاله‌ای که در سال ۲۰۱۹ به چاپ رسانید، شبکه نظارت بر بیماری قلب را مطرح کرده است. این شبکه در بستر بی‌سیم و اینترنت اشیا IOT، برای نظارت بر بیماری طراحی شده بود. ساختار شبکه به‌صورت شبکه عصبی مصنوعی ارائه شده بود و علائم بیماری قلبی (از جمله ضربان قلب) را کنترل می‌کنند. با استفاده از شبکه نظارتی داده‌های بیمار را جمع‌آوری می‌کند و سپس به تحلیل زمان عملکرد بطن و دهلیز پرداخته می‌شد [۱].

به‌منظور نظارت بر وضعیت بیمار نیاز به شبکه‌ای است که تمام علائم بیمار مورد ارزیابی قرار گیرد، از آنجایی که علائم بیمار ناشی از عدم کارکرد نامناسب سایر بافت‌ها هست، لذا ایجاد یک شبکه که توانسته است کارکرد بافت‌های مختلف و وابستگی آن‌ها را مورد ارزیابی قرار دهد لازم و ضروری است.

برای این منظور در مقالات مختلف به‌طور گسترده به‌وسیله یک حس‌گر بر بافت آسیب‌دیده نظارت می‌کنند تا در طول زمان وضعیت بافت را مورد ارزیابی قرار دهند، ولی به علت نبود حسگری که توانسته است سایر گره‌ها را مورد ارزیابی قرار دهد نظارت دقیق با مشکلاتی مواجه است.

هوشمندی شبکه، به‌وسیله تبادل داده بین گره‌ها حائز اهمیت هست، در صورتی که بافت آسیب‌دیده، در شبکه وجود داشته باشد، شبکه با کمترین افت تبادل اطلاعات روبرو می‌شود. سیگنال‌های تنک و تراکم پذیر در بسیاری از زمینه‌های نظارت محیطی و مراقبت کاربرد دارند. سنجش فشرده ویژگی‌های فراوانی از قبیل سادگی عملیات سنجش و فشرده‌سازی، عمومیت سیگنال‌های جمع‌آوری شده و افت قابل قبول در کیفیت بازسازی سیگنال هست که آن را برای استفاده در شبکه‌های حسگر جذاب می‌سازد [۲]. آنچه باعث توانمندی شبکه هوشمند می‌شود، برتری تصمیم‌گیری است، برتری تصمیم‌گیری یک برتری رقابتی در حوزه ادراکی به معنی توانایی یک شبکه در اتخاذ سریع‌تر تصمیم‌های بهتر است. برتری اطلاعاتی موجب می‌شود که متخصصان در هنگام برخورد با نوع بیماری تصمیمات بهتر و اجرای سریع‌تر آن‌ها نمایند، زمانی که می‌توان تصمیم خوبی بگیریم که اطلاعات کافی داشته باشیم، این اطلاعات معمولاً از فیلتر تجربه، دانش، آموزش و قضاوت یک متخصص عبور کرده است، ناشی می‌شود. همکاری بین گره‌ها در یک شبکه، یعنی به اشتراک‌گذاری فعال داده‌ها، اطلاعات، دانش، درک‌ها (مانند آگاهی از حقایق یا عوامل و فهم موقعیت‌ها) یا مفاهیم در هنگام کارگروهی گره‌ها برای دستیابی کارآمد به یک هدف مشترک است. همکاری ابعاد گوناگونی دارد که هر یک توانسته است تغییر کند. این ابعاد شامل محیط، زمان لازم، پیوستگی، گسترش، پرباری، حوزه، ساختار و نقش اعضا می‌شوند. این مفهوم چندبعدی باید تجزیه شود و تغییرات ابعاد مهمش کنترل گردد تا پژوهشگران، کیفیت و تأثیر هر یک را مشاهده و اندازه‌گیری نمایند [۳].

بنابراین به ترکیب حوزه‌های فیزیکی، اطلاعات و ادراک نیاز دارد. دستیابی به میزان همگانی لازم، به (۱) مفهوم هماهنگی گره‌ها (۲) سطحی از متمرکزسازی یا تمرکززدایی که هدایت و انعطاف مناسب را برای محیط و امکانات پشتیبانی اطلاعاتی موردنظر فراهم می‌کند، نیازمند است. نظارت بر وضعیت بیمار باهدف دستیابی به آگاهی یکسان، سرعت بیشتر در تشخیص بیماری، اجرای سریع‌تر نظارت، کنترل زیادتر، ماندگاری و میزانی از خود همگانی، به‌طور کلی ساختار نظارت بر وضعیت بیمار را می‌توان به‌صورت ترکیبی از سه گره در نظر گرفت:

گره اطلاعات: زیرساخت فیزیکی که امکان ارتباط، پردازش، ذخیره‌سازی، جریان و حفاظت اطلاعات را فراهم می‌کند. گره حسگرها: مجموعه حسگرها که اطلاعات یا داده‌های لازم برای آگاهی از وضعیت بیمار را به‌طور اطلاعات وارد می‌کنند. گره نظارت بر بیمار: تشخیص و اجرای تجویز دکتر بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده از گره اطلاعات در اینجا انجام می‌شود [۳، ۴].

سه نوآوری اساسی در این مقاله آورده شده است که به شرح آن پرداخته شده است:

- ۱- بررسی تأثیر بافت‌های سالم بر بافت تومور در شبکه نظارت بر بیمار
 - ۲- استفاده از یک شبکه قابل آموزش برای اندازه‌گیری این تأثیرات بافت‌های سالم بر بافت تومور
 - ۳- استفاده از گره‌های ارزیاب در این شبکه، به‌منظور ارزیابی شبکه نظارت بر بیمار
- ساختار مقاله در ادامه به این شرح است. در قسمت دوم توپولوژی شبکه پیشنهاد می‌شود. در قسمت سوم معیار وزن دهی در گره‌ها و مسیرهای ارتباطی پیشنهادی بررسی گردیده است قسمت چهارم میزان توانمندی شبکه پیشنهادی محاسبه می‌گردد. بخش پنجم شبیه‌سازی و ارزیابی گره تومور پرداخته می‌شود که به‌وسیله آن شبکه پیشنهادی را ارزیابی کنیم. قسمت ششم به بررسی و ارزیابی کلی شبکه و ارائه مدل پیشنهادی پرداخته می‌شود و در قسمت آخر نتیجه‌گیری انجام شده است.

۲- آرایش شبکه

از ویژگی‌های یک آرایش گره‌های خودی این است که دارای شبکه یکپارچه از سامانه‌ها باشد تا در مواقع خطر بیشترین بازدهی را داشته باشد. گاهی یک شبکه را با تعداد محدودی از عامل‌ها که هر یک دارای قابلیت ساده هستند، در این زمان، آگاهی موقعیتی رخ می‌دهد و تمامی عامل‌ها از موقعیت اطراف خود کاملاً آگاه می‌گردند. این همسایگی و ارتباط عامل‌ها تا زمانی که سیستم به آگاهی لازم برای رسیدن به پاسخ موردنظر یا انجام عملیات موردنظر برسد ادامه پیدا می‌کند [۴].

شبکه بودن گره‌ها پیشرفته اطلاعاتی را به کار می‌گیرد تا گره‌ها را توسط شبکه‌های گسترده و محلی یکپارچه، به یکدیگر ارتباط دهد و به کمک مفاهیم و اصول، قابلیت‌های نظارت را افزایش چشمگیر دهد. گره‌های شبکه بر جمع‌آوری، پردازش و مدیریت اطلاعات، برای به‌کارگیری توان موجود در شبکه اطلاعاتی تکیه می‌کند و روشی جدید برای ایجاد برتری اطلاعاتی پیشنهاد می‌نماید. شبکه دارای مقادیر مجهول هست که این مقادیر مجهول مربوط به گره و مسیرهای بین گره است. برای به دست آوردن این مقادیر مجهول به بررسی و ارزیابی آن در فرد سالم و بیمار پرداخته می‌شود.

۳- معیار وزن دهی به گره‌های و مسیرهای شبکه

در یک شبکه توانمند باید تمام گره‌ها باهم همکاری لازم را داشته باشند، این همکاری با توجه به قابلیت گره‌ها و مسیرها تعریف می‌شود. قابلیت گره به معنای میزان توانمندی گره در پردازش و خون‌رسانی به بافت تعریف می‌شود.

۳-۱- قابلیت گره قلب در شبکه

قلب خون را از طریق سیستم گردش خون پمپاژ می‌کند. خونی که دارای اکسیژن اندکی باشد، از طریق دهلیز و بطن راست وارد جریان گردش خون ریوی می‌گردد، از طریق ریه‌ها اکسیژن دریافت می‌کند و دی‌اکسید کربن را پس می‌دهد. خون دارای اکسیژن از طریق دهلیز و بطن چپ خارج می‌شود و روند اکسیژن‌رسانی به بافت را انجام می‌دهد. معادله (۱) میزان اکسیژن در خروجی قلب را به ما می‌دهد:

$$DO_2 = CO \times CaO_2 \quad (1)$$

میزان اکسیژن DO_2 (ml/min) حاصل ضرب جریان خروجی قلب در میزان اکسیژن خون به دست می‌آید. در فیزیولوژی قلب و عروق، حجم ضربه‌ای، حجم خون پمپ شده از بطن چپ در هر ضربان است. اصطلاح حجم ضربه‌ای توانسته است برای هر دو بطن قلب به کار برود، اگرچه معمولاً به بطن چپ اشاره دارد. حجم خونی که در هر انقباض بطنی از یک بطن خارج، رد سرخرگ می‌شود، حجم ضربه‌ای نامیده می‌شود. اگر این مقدار را در تعداد ضربان قلب در دقیقه ضرب کنیم، حجم برون ده قلبی به دست می‌آید.

$$C_{output} = S_v \times H_r \quad (2)$$

حجم ضربه‌ای یک عامل مهم تعیین‌کننده برون ده قلبی (در هر دقیقه چه میزان حجم خون انتقال داده می‌شود) است که حاصل ضرب S_v حجم ضربه‌ای (به، چه میزان حجم خون انتقال داده می‌شود) و H_r ضربان قلب (در هر دقیقه چه تعداد ضربه اتفاق می‌افتد) است و همچنین برای محاسبه کسر تخلیه که حجم ضربه‌ای است تقسیم بر حجم پایان دوره انقباض عضله قلب، استفاده می‌شود. از آنجا که در برخی شرایط و شرایط بیماری، میزان حجم ضربه‌ای کاهش می‌یابد، میزان حجم ضربه‌ای خود با عملکرد قلب ارتباط دارد [۴]. فشارخون، فشاری است که از طریق دستگاه گردش خون بر دیواره رگ‌های خونی وارد می‌شود. فشارخون معمولاً به فشار شریانی گردش خون منسجم اشاره دارد. در طول هر ضربان قلب، فشارخون بین حداقل و حداکثر فشار (منسجم و دوره انقباض عضله قلب) تغییر می‌کند. میانگین فشارخون شریانی (M_{AP}) از فشارخون منسجم (S_{BP}) و فشارخون دوره انقباض عضله قلب بیماری آید. معادله (۳) فشارخون در خروجی قلب را نشان می‌دهد [۵]:

$$M_{AP} = D_{BP} + \frac{1}{3} \times (S_{BP} - D_{BP}) \quad (3)$$

فشارخون برحسب میلی‌متر جیوه اندازه‌گیری می‌شود؛ که فشارخون عددی بین حداقل و حداکثر (منسجم و دوره انقباض عضله قلب) فشارخون است. معادله (۴) قابلیت میزان توان خروجی گره قلب را نشان می‌دهد.

$$P_{out} = \frac{\dot{m} \times \Delta p}{\rho} \quad (4)$$

این توانمندی برحسب Δp تغییرات فشار، m تغییرات جرم خون و رابطه معکوس ρ ضریب چگالی خون هست: توان خروجی به منظور پمپاژ کردن خون در رگ با استفاده از معادله (۴) به دست می‌آید [۶].

۳-۲- قابلیت گره کبد در شبکه

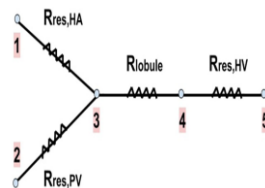
کبد از لحاظ ساختار و عملکرد یک ارگان مهم در بدن است، یکی از وظایف مهم کبد این است که قبل از اینکه خون توسط بزرگ سیاهرگ زیرین، به سمت قلب بازگردد مواد غذایی و سایر مولکول‌های جذب‌شده در روده را دریافت و جذب کند. کبد از دو منبع تغذیه می‌شود: از طریق سیاهرگ و از طریق شریان کبدی. سیاهرگ باب خون طحال، پانکراس و روده را به کبد رسانده شده است، حدود ۷۵ درصد از حجم خونی است که به کبد منتقل می‌شود این خون غنی از مواد غذایی غیر موکول‌های جذب‌شده است و تقریباً فاقد اکسیژن است. شریان کبدی یک شاخه از شریان سلیان است که از آئورت شکمی منشأ گرفته است و حدود ۲۵ درصد از خون ورودی به کبد را تشکیل می‌دهد این خون اکسیژن بالایی دارد اما فاقد مواد مغذی است. خون سیاهرگ باب و شریان کبدی مخلوط شده و وارد قطعه‌چه‌ها می‌شود که واحدهای ساختاری کبد هستند. سپس خون به داخل قطعه‌چه‌های کبدی نفوذ کرده و در سیاهرگ مرکزی کبدی جمع می‌شود، سیاهرگ‌های مرکزی مجتمع می‌شوند و سیاهرگ‌های بزرگ‌تر زیر قطعه‌چه‌ی (وریدهای تحت قطعه‌چه‌ی) را تشکیل می‌دهند که نهایتاً به سیاهرگ کبدی متصل می‌شوند و خون از طریق سیاهرگ زیرین به سمت قلب جریان می‌یابد. نهایتاً سیاهرگ باب، شریان کبدی و مجرای صفرا باهم ترکیب مجموعه سه‌قلوی پورتال را می‌دهند، یک مقطع عرضی از قطعه‌چه‌ها به ما تصویری می‌دهد از بافت آن و نظم و ترتیب که در آن معمول است، از این زاویه می‌توانیم سیاهرگ مرکزی و مجموع سه قول پورتال را تشخیص دهیم. به‌طور کلی نمای مختلف در مورد ساختار قطعه‌چه‌ی کبد وجود دارد. قطعه‌چه‌ی کلاسیک کبدی یا مدل کالبدی و آ سینوسی^۱ کبدی یا مدل عملکردی. قطعه‌چه‌ی کلاسیک همان بخش کالبدی است که درباره آن بحث کردیم که شکل آن شش‌ضلعی است و توسط سه قول‌های پورتالی که یک سیاهرگ مرکزی منفرد را احاطه کرده است. تعریف می‌شود برای تشخیص قطعه‌چه‌ی در اسلایدهای بافت‌شناسی در ابتدا باید سیاهرگ مرکزی را جستجو کرد سپس سه قول پورتال که آن سیاهرگ مرکزی را احاطه کرده است را پیدا می‌کنیم که معمولاً ۶ عدد هستند و در گوشه‌های منشور شش‌ضلعی قرار گرفته است. خط فرضی که سه قول پورتال را به هم متصل می‌کند قسمت‌های خارجی این قطعه‌چه‌ی را مشخص می‌کنند. در قطعه‌چه‌ی کلاسیک خون از سه قول پورتال به سمت سیاهرگ مرکزی جریان می‌یابد، درحالی‌که صفرا برخلاف جهت از قسمت مرکزی به سمت سه قول‌های پرتابل حرکت می‌کند [۷]. نرخ چگالی جریان وابسته به سرعت متوسط به‌وسیله معادله (۵) بیان شده است.

$$\dot{m} = 6\rho IU L_h t \quad (5)$$

IU سطح مقطع یک ضلع قطعه‌چه‌ی شش‌ضلعی، t عمق یا ضخامت یک ضلع و IU سرعت متوسط جریان خون در رگ مرکزی است [۷].

$$\Delta p = \frac{\mu I L_h IU}{k} \quad (6)$$

Δp تفاوت فشار خون بین دونقطه را حساب می‌کند، k مقاومت خون، μ ضریب ویسکوزیته خون هست.



شکل ۱: نمای کلی ورودی و خروجی کبد [۸]

^۱ acinus

ما هر دو را در نظر می‌گیریم سرعت کل جریان جرم خون ورودی و خروجی از کبد به دلیل فشار تغییر نمی‌کند، نرخ جریان جرم ورودی کل پس از عبور از قطعه چی ها باهم ادغام می‌شوند و سپس به خروجی هدایت می‌شود.

$$p_5 - p_3 = \Gamma \dot{m}_{total} (R_{lobule} + R_{res,HV})$$

$$\Gamma = \frac{\dot{m}_{PV} - \dot{m}_{HA}}{\dot{m}_{PV} + \dot{m}_{HA}} \quad (7)$$

Δp تفاضل فشار ورودی و خروجی هر قطعه چی برابر است با نرخ جریان کل \dot{m}_{total} ضربدر مقاومت‌های داخلی خون $R_{lobule, blood}$ هست. ضریب تغییرات زمانی جرم در دو ورودی HA و PV خون است [۸].

۳-۳- قابلیت گره تومور سینه

سلول‌های تومور جمعیتی از سلول‌های میزبان هستند که توانای تنظیم تکثیر خود را از دست داده است و بنابراین به مقدار نامحدود تکثیر می‌شوند. بافت توموری توانسته است مواد تغذیه‌ای و اکسیژن کافی را از طریق انتشار ساده تا محدوده ۱ تا ۲ میلی‌متر جذب نماید و از این نقطه به بعد نیازمند ایجاد رگ‌های تغذیه‌کننده جدید می‌باشند. در طی فرآیندی که بسیار به رگ زایی نرمال شباهت دارد، یک تومور توانسته است تشکیل رگ‌های جدید را از شبکه مویرگی موجود القا کند. بدین صورت که با افزایش اندازه تومور محیط سلول‌های توموری تنگ کننده عروق و اسیدیک^۲ شده و شروع به افزایش چندین نوع فاکتور رشد می‌کنند که در نتیجه آن تشکیل رگ‌های خونی موضعی می‌شود. در مطالعات بازسازی سلول‌های سرطانی، همواره سعی بر تجزیه و تحلیل رشد تومور و حجم تومور با بهترین مدل است که می‌بایست با ملاحظات مربوطه به مقادیر برآورد شده از نرخ رشد (r) در مقایسه با حجم اولیه تومور و لحاظ کردن میزان گسترش حجم تومور به صورت تابعی از زمان انجام شود. معادله (۸) توانسته است مدل رشد تومور را در چنین شرایطی بیان کند:

$$\frac{dV_0}{dt} = rV_0(t)f(V_0(t)) \quad (8)$$

که در این رابطه f, r, V_0 به ترتیب حجم تومور، نرخ رشد و عامل اصلاح هستند (عامل اصلاح نشان‌دهنده انحراف از رشد نمایی است) [۹].

۳-۴- معیار وزن دهی به مسیرهای ارتباطی

شبکه پیشنهادی دارای چهار گره است. ارتباط سه گره رگ‌های خونی هست، گره چهارم به صورت ارتباط بی‌سیم با گره ۳ در ارتباط است. در اینجا برای وزن دهی به مسیرهای ارتباطی بین گره‌ها از تئوری آنالیز شانون استفاده می‌کنیم. معیارهایی که وزن مسیر ارتباطی را بر اساس تئوری شانون تعیین می‌کند عبارت است از؛ مسیر یک‌جهت، مسیرها دو جهت، جرم خون، فشارخون و حجم خون هست. امتیاز هر مسیر ارتباطی از مقادیر مختلفی تشکیل شده است که عبارت است از؛ حجم، جرم و فشارخون است.

نحوه محاسبه وزن هر یک از مسیرها:

- گام اول: نرمال کردن ماتریس تصمیم: x_{ij} داده‌ها مربوط به مسیر بین گره i به گره j را با توجه به مقدارهای؛ جرم، فشار و حجم خون را نرمال می‌کنیم.

² monoenoic acid

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^m x_{ij}} \quad (9)$$

• گام دوم: محاسبه آنتروپی: e_j با توجه معادله (۱۰) تئوری آنتروپی شانون به دست می‌آوریم.

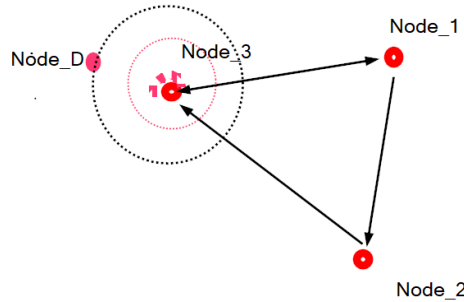
$$e_j = -\left(\frac{1}{\ln(m)}\right) \sum_{i=1}^m r_{ij} \ln r_{ij} \quad j = 1, \dots, n \quad (10)$$

• گام سوم: محاسبه بردار وزنی

$$w_i = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (11)$$

۴- امتیاز توانمندی آرایش شبکه

در اینجا یک شبکه که شامل ۴ گره است را طراحی کرده‌ایم که در آن گره یک و دو از طریق مسیر ارتباطی به گره سوم در ارتباط است. گره سوم تومور سینه هست که با افزایش تکثیر سلول و رگ زایی باعث می‌شود، از گره یک و دو مقادیر زیادی خون دریافت کند. این شبکه به وسیله گره چهار مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. گره چهار با تابش سیگنال به گره سوم و دریافت سیگنال از آن متوجه تغییرات عملکرد گره یک، دو و سوم می‌گردد. قابلیت گره‌ها k_i شامل گره $i = 1, 2, \dots, 4$ هست را نشان می‌دهد و مسیرهای ارتباطی مسیر بین گره i به گره z را با توجه به مقدارهای جرم، فشار و حجم خون را نرمال می‌کنیم. وزن سیرها w_{ij} که در آن شماره مسیر $i = 1, 2, \dots, 4$ و $z = 1, 2, \dots, 4$ هست، شکل ۲ به خوبی شبکه را ترسیم شده است.



شکل ۲: مدل پیشنهادی اولیه (در این مدل مشخصات گره و مسیر تعیین نشده است).

فرمول کلی توانمندی گره با توجه به قدرت پردازش اطلاعات ورودی (ورودی: اکسیژن، پروتئین و سایر مواد غنی) و توانایی به منظور تأمین نیاز در گره‌های دیگر طراحی شده است و در معادله (۱۲) به خوبی این موضوع نشان داده شده است.

$$K_{\mu}(t) = \sum_{\mu=1}^{N_T} v_{\mu}(t) M_{\mu}(t) p_{\mu}(t) \quad (12)$$

در معادله (۱۲) M_{μ} نرخ جرم خون، v_{μ} نرخ حجم خون و p_{μ} فشارخون هست، که از ضرب این سه مورد توانایی لازم در گره به منظور پردازش اطلاعات ورودی و برون دهی گره را فراهم می‌کند. به منظور استخراج توانمندی کلی شبکه در اینجا بعد از محاسبه قابلیت گره‌ها به بررسی وزن گره‌ها مطابق قسمت ۳ پرداخته شده است. معادله کلی که توانمندی شبکه را از آن استخراج می‌شود به صورت زیر هست.

$$\text{Con}_M(t) = \sum_{\mu=1}^{N_T} K_{\mu}(t) \sum_{v=1}^{N_{\mu}} PL^{\mu v}(t) \sum_{\gamma=1}^{N_{\mu v}} \frac{P_{\gamma}^{\mu v}(t) w_i(t)}{(d_{\gamma})^{\xi}} \quad (13)$$

در معادله (۱۳) $P_V^{\mu\nu}$ قابلیت تغییر فشار در مسیر γ ، N_T تعداد کل گره‌های شبکه، N_μ تعداد مسیرهای شبکه، $N_{\mu\nu}$ تعداد کل مسیرهای ممکن بین گره‌ها، $(d_V)^\beta$ قابلیت تغییر پارامترهای مسیر بین دو گره، $PL^{\mu\nu}(t)$ پارامترهای میسر بین دو گره هست.

۵- شبیه‌سازی و ارزیابی گره تومور در شبکه

سیگنال ارسالی یک سیگنال پالسی است که پهنای پالس آن شکل ۵ دارای مدولاسیون فرکانسی خطی^۳ است که این نوع مدولاسیون، به‌طور خطی با زمان تغییر می‌کند و تغییر آن به‌صورت صعودی است [۱۰، ۱۱]. فرض کنید سیگنال را می‌فرستیم آنچه دریافت می‌کنیم علاوه بر سیگنال بازگشتی از تومور نیز هست سیگنال تومور به علت جذب بافت توموری دارای توان کمتری است دارد بنابراین می‌توانیم سیگنال بازگشتی را به‌صورت زیر مدل کنیم [۱۱].

$$S_{Rx}(t, T) = A_t(t - \tau - T) \Gamma^b \exp(j2\pi f_c(t - \tau)), T = 0, PRI, 2PRI, \dots \quad (14)$$

A_t دامنه و فاز تومور، t_t تأخیر تومور با توجه به اینکه سیگنال بازگشتی دارای ضریب بازتاب Γ^b باشد. لذا برای ارزیابی سیگنال بازگشتی ما دو مؤلفه ضریب گذردهی الکتریکی و ثابت دی‌الکتریک را در نظر می‌گیریم.

$$\Gamma_{\perp}^b = \frac{\sqrt{\frac{\mu_2}{\epsilon_2} \cos \theta_i} - \sqrt{\frac{\mu_2}{\epsilon_2} \cos \theta_t}}{\sqrt{\frac{\mu_2}{\epsilon_2} \cos \theta_i} + \sqrt{\frac{\mu_1}{\epsilon_1} \cos \theta_t}} \quad (15)$$

در اینجا طبق قانون فرسندل زاویه تابش θ_i و زاویه بازتابش θ_t ، ϵ ضریب دی‌الکتریک و μ ضریب گذردهی نسبی است. برای اینکه بتوانیم سیگنال برگشتی را بهتر تجزیه و تحلیل کنیم، دامنه سیگنال برگشتی را متناسب با قضیه بیز-لامبرت می‌نویسیم. معادله (۱۶) برای تحلیل دقیق‌تر توان برگشتی از تومور مورد نیاز است [۱۲].

$$A_t \propto I = I_0 e^{-\epsilon \ell c} \quad (16)$$

در اینجا ϵ یک خاصیت وابسته به نمونه است که از اندازه‌گیری میزان قدرت جذب یک نمونه در یک طول موج خاص، C تعداد مول‌های حل‌شده در یک محلول، ℓ طول مسیری است که نور طی می‌کند. سیگنال برگشتی از هدف دارای دامنه و تأخیر هست که اگر توان موج برگشتی کم باشد، آنگاه جذب با توجه به غلظت مولار^۵ بیشتر صورت می‌گیرد؛ بنابراین حالت‌های قابل‌تصور در یک شبکه برای ارزیابی گره تومور با آن مواجه می‌شوند به‌صورت زیر است [۱۲، ۱۳]:

- افزایش فشار در خروجی کبد باعث افزایش جریان و در نتیجه باعث افزایش جرم و تأثیر آن بر غلظت خون تومور
- افزایش برون‌ده قلبی و تأثیر آن بر غلظت خون تومور
- سرعت جذب با توجه به غلظت مولار است.
- σ سطح مقطع راداری هدف باعث جذب انرژی می‌شود و یا توان بازگشتی از تومور را مشخص می‌کند.
- موج^۶ هدف با توجه به زاویه برگشت سیگنال در راستای سمت و ارتفاع هدف $\sigma(\theta, \varphi)$ هست.
- با توجه به قانون بیز لامبرت،
- انرژی قابل‌جذب برای مولار آب در یک فرکانس خاص (σ) باعث می‌شود، سطح توان سیگنال دریافتی به‌صورت خطی کاهش یابد.
- اگر چگالی خون افزایش یابد سطح توان سیگنال دریافتی به‌صورت نمایی کاهش یابد.

³ Linear FM

⁴ Mol

⁵ Molar

⁶ Fluctuation

- اگر غلظت مولار، طول مسیر، ضریب جذب مولی، سطح توان سیگنال دریافتی به صورت خطی افزایش می‌یابد.
- ضریب جذب ماده با افزایش اکسیژن افزایش می‌یابد
- طول نمونه با افزایش حجم خون رگ زایی افزایش می‌یابد
- غلظت با افزایش مواد غنی افزایش می‌یابد.

۶- بررسی و ارزیابی کلی شبکه و ارائه مدل پیشنهادی

در اینجا یک شبکه که شامل ۴ گره است را طراحی کرده‌ایم، همان‌طور که جدول ۱ که در آن مسیر بین گره‌ها با توجه به وضعیت نرمال بیمار یعنی مقادیر جرم خون، حجم و فشارخون امتیازبندی می‌شوند. یعنی با توجه به ویژگی‌های مسیر بین دو گره، به هر مسیر وزن خاص داده می‌شود. جدول ۱ مقادیری که هر یک از گره‌ها با توجه به غنی بود اکسیژن، پروتئین و فشار دارد امتیاز داده می‌شود. ارزیابی مسیر بین گره‌ها که با معیار حجم، جرم و فشارخون سنجیده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، ما دو حالت را برای امتیازدهی به مسیرهای مابین گره‌ها در نظر گرفته شده است، که به ترتیب زیر هست:

- حجم خون
- جرم خون
- فشارخون

همان‌طور که در جدول ۱ دیده می‌شود با توجه به وضعیت یک انسان سالم به مسیرها وزن خاص خود را داده می‌شود. سپس در شرایط مختلف بیماری این وزن‌ها قابل تغییر است در واقع بین وزن گره‌ها و شرایط بیمار وابستگی وجود دارد. فشارخون نرمال در انسان در حال استراحت در محدوده ۹۰ الی ۱۲۰ میلی‌متر جیوه (منسجم) و ۶۰ الی ۸۰ میلی‌متر جیوه (دوره انقباض عضله قلب قرار دارد). به‌طور معمول اگر فشارخون به‌صورت پایدار بالاتر از ۱۳۰ منسجم و ۸۰ دوره انقباض عضله قلب قرار گیرد. پاتولوژی و بیماری محسوب می‌شود. انقباض در هر دقیقه حدود ۷۲ مرتبه تکرار می‌شود و با هر انقباض قلب نزدیک ۷۰ سی‌سی خون را از قلب خارج می‌شود. با این احتساب یک قلب طبیعی در هر دقیقه چیزی حدود ۵۰۰۰ سی‌سی یا به عبارتی ۵ لیتر خون وارد بدن می‌شود. حجم خون در گردش یک فرد بالغ با توجه به جرمش، در حدود ۴/۷ تا ۵/۵ لیتر است، اگر چگالی خون را $\rho = 1/0 \frac{g}{cm^3}$ در نظر بگیریم با توجه به فرمول $\rho = \frac{m}{V}$ جرم خون برابر ۴/۹۳ کیلوگرم است.

جدول ۱: ارزیابی وزن مسیرهای شبکه

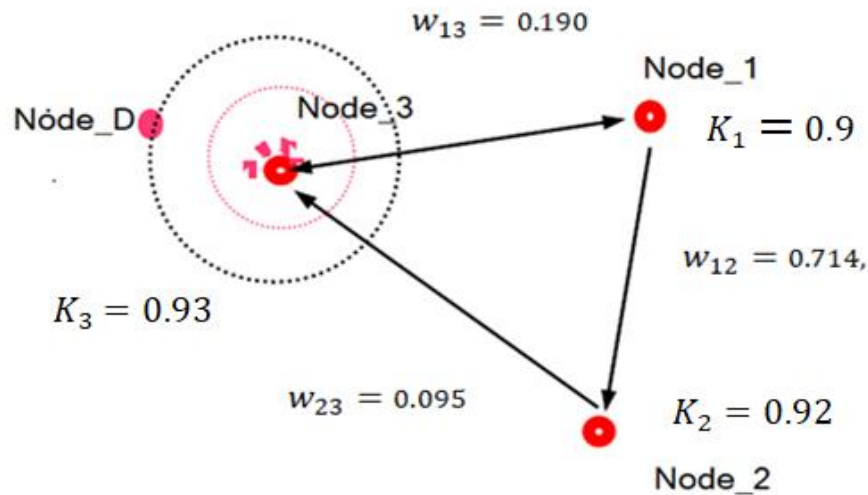
| ROUTE | Blood volume | r_{ij} | e_{ij} | Blood mass | r_{ij} | e_{ij} | blood pressure | r_{ij} | e_{ij} | w_i |
|--------------------|--------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|----------------|----------|----------|-------|
| ۱→۲ | ۰/۲۷۳ cc | ۰/۲۷ | ۰/۲۵ | ۴.۹۳/۱۸.۸ kg | ۰/۲۶۲ | ۰/۲۵۳ | ۰/۲۲۵ mmHg | ۰/۲۲ | ۰/۲۵ | ۰/۷۱۴ |
| ۲→۳ | ۰/۲۱۸ cc | ۰/۲۱ | ۰/۲۳ | ۴.۵۲/۱۸.۸ kg | ۰/۲۴۰ | ۰/۲۴۷ | ۰/۲۳۷ mmHg | ۰/۲۳ | ۰/۲۴۳ | ۰/۰۹۵ |
| ۱→۳ | ۰/۲۴۵ cc | ۰/۲۴ | ۰/۲۴ | ۴.۷۲/۱۸.۸ kg | ۰/۲۵۱ | ۰/۲۵۰ | ۰/۲۳۷ mmHg | ۰/۲۵ | ۰/۲۵۱ | ۰/۱۹۰ |
| ۲→۳ | ۰/۲۶۲ cc | ۰/۲۶ | ۰/۲۵ | ۴.۶۳/۱۸.۸ kg | ۰/۲۴۶ | ۰/۲۴۸ | ۰/۲۷۵ mmHg | ۰/۲۷ | ۰/۲۵۶ | ۰/۰۹۵ |
| x_{total} | ۱۸۳۰ cc | - | - | ۱۸.۸ kg | - | - | ۴۰۰ mmHg | - | - | - |
| e_{total} | - | - | ۰/۹۷ | - | - | ۰/۹۹۶ | - | - | ۰/۹۹۲ | - |
| $d_j = 1 - e_{ij}$ | - | - | ۰/۰۳ | - | - | ۰/۰۰۴ | - | - | ۰/۰۰۸ | - |

در جدول ۱ به هر کدام از گره‌های شبکه امتیاز داده شده است. این امتیاز از با توجه به معادله (۱۲) داده می‌شود. مقادیری که می‌توان توانمندی گره را مورد ارزیابی قرارداد عبارت است از؛ M_μ نرخ جرم خون، v_μ نرخ حجم خون و p_μ فشار خون هست که از ضرب این سه مورد توانایی لازم در گره به منظور پردازش اطلاعات ورودی و برون دهی گره را فراهم می‌کند.

جدول ۲: ارزیابی وزن مسیره‌های شبکه

| گره | p_μ | v_μ | M_μ | $K_\mu(t)$ |
|-----|---------|---------|---------|------------|
| ۱ | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۰۹ |
| ۲ | ۰/۲۳ | ۰/۵۲ | ۰/۶ | ۰/۹۲ |
| ۳ | ۰/۲۴ | ۰/۴۸ | ۰/۷ | ۰/۹۳ |

جدول ۲ امتیاز توانمندی گره‌ها در یک فرد سالم بررسی شده است. مدل نهایی و پیشنهادی در شکل ۳ ترسیم شده است. همان‌طور که دیده می‌شود گره‌ها و مسیره‌ها دارای امتیاز توانمندی داده شده است. معادله (۱۲) امتیاز توانمندی گره را بیان می‌کند و معادله (۱۳) امتیاز توانمندی مسیره‌های ارتباطی بین گره‌ها را مطرح می‌کند.

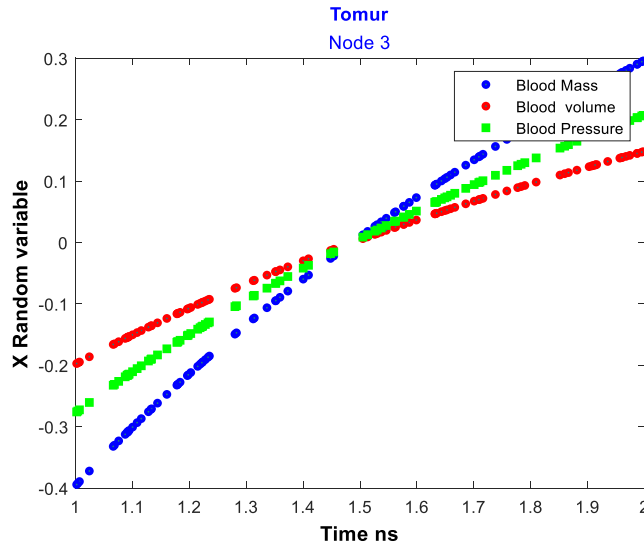


شکل ۳: مدل نهایی پیشنهادی (در این مدل وزن گره و مسیر محاسبه شده است).

شبکه پیشنهادی ترسیم شده در شکل ۳، نشان می‌دهد که قابلیت گره قلب برابر $K_1 = 0/90$ و گره کبد $K_2 = 0/92$ و بافت تومور $K_3 = 0/93$ هست و امتیاز مسیر ۱ به ۳ برابر $w_{13} = 0/190$ ، مسیر ۲ به ۳ برابر $w_{23} = 0/095$ و همچنین مسیر ۱ به ۲ برابر $w_{12} = 0/714$ هست. در حالتی که در چندین پالس برگشتی توان سیگنال از گره ۳ به ۴ کم شود. شبکه متوجه بیماری خواهد شد. به عبارتی، اگر خطای شبکه زیاد شود، بیمار وضعیت نامناسبی دارد.

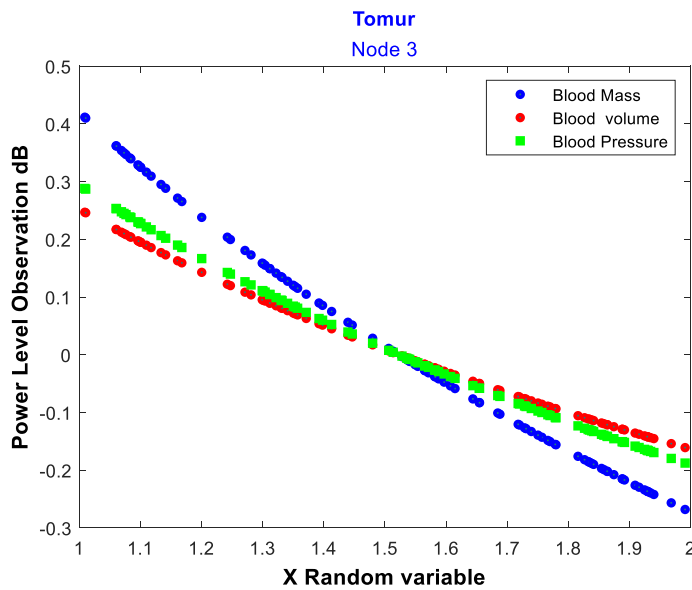
$$error = Con_M - des \quad (17)$$

در معادله (۱۷)، des نشان‌دهنده وضعیت یک شبکه در حالت نرمال است، Con_M نشان‌دهنده وضعیت یک شبکه در حالت غیر نرمال است. از گره ۴ برای بازخورد گیری شبکه استفاده می‌شود. حالتی را در نظر می‌گیریم که گره تومور به صورت غیرطبیعی سلول‌های آن تکثیر می‌یابد و رگ زایی در آن افزایش می‌یابد.



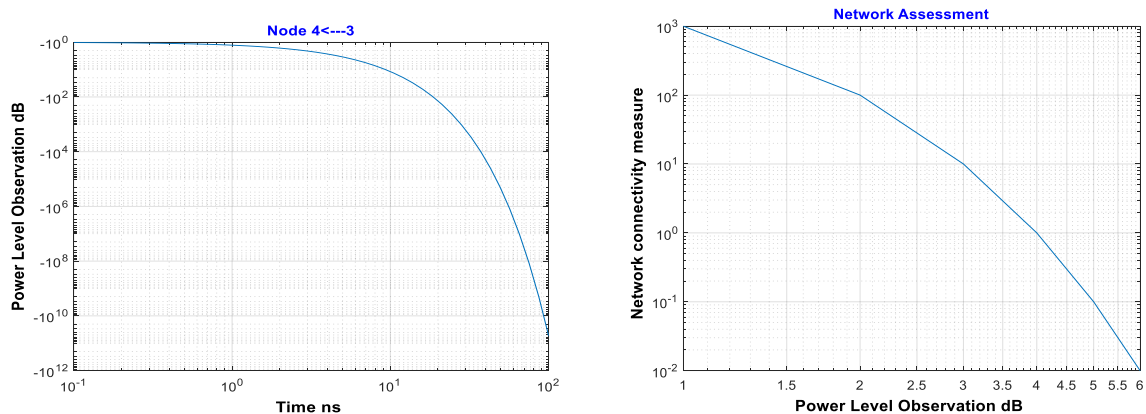
شکل ۴: تغییر پارامترهای X (فشار، حجم و جرم خون) با زمان

شکل ۴ رفتار تومور در هنگام فعالیت را نشان می‌دهد. در یک بازه زمانی تومور شروع به تکثیر می‌کند در نتیجه نیاز به مواد غذایی و پروتئین از سایر گره‌ها دارد. آنچه از گره‌ها دیگر به گره تومور می‌رسد را یک متغیر X (فشار، حجم و جرم خون) هست که با گذر زمان افزایش می‌یابد. افزایش فشار، حجم و جرم خون باعث افزایش اندازه و غلظت خون می‌شود. در اینجا با توجه به معادله (۱۶) ارتباط متغیر X (فشار، حجم و جرم خون) با توان بازگشتی از تومور مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل ۶ میزان توان سیگنال بازگشتی با توجه به متغیر X (که شامل حجم، غلظت و جرم) کاهش می‌یابد. این نشان می‌دهد که وضعیتی نامطلوب در شبکه به وجود آمده است.



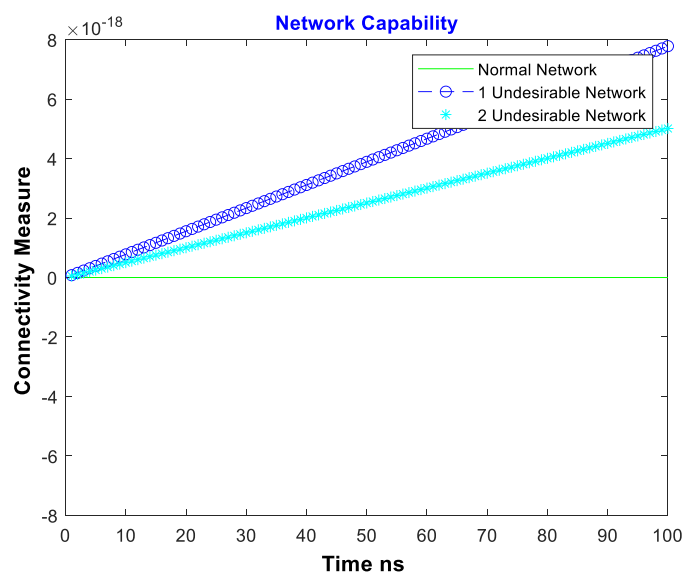
شکل ۵: توان سیگنال بازگشتی از تومور

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده شد با گذر زمان، غلظت خون افزایش می‌یابد. در شکل ۵ نشان می‌دهد که توان سیگنال بازگشتی متناسب با غلظت کاهش پیدا کرده است. توان بازگشتی از گره تومور (گره ۳) کاهش می‌یابد در نتیجه عملکرد تومور نامطلوب توصیف می‌شود. در شکل ۶ ارتباط توان بازگشتی از تومور و قابلیت نامطلوب آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. توان سیگنال برگشتی، که گره ۴ از گره تومور (گره ۳) دریافت کرده است، به مرور زمان کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۶ دیده می‌شود با تغییر زمان، توان سیگنال دریافتی کاهش یافته است. کاهش توان یعنی، امتیاز توانمندی شبکه کاهش یافته است.



شکل ۶: ارتباط توان برگشتی از تومور و قابلیت نامطلوب: الف) نشان می‌دهد که با تغییر زمان توان برگشتی کاهش یافته است، این بدان معنا است که فعالیت در گره تومور (گره ۴) افزایش یافته است. ب) نشان می‌دهد که نسبت توان برگشتی از گره تومور (گره ۳) رابطه معکوسی با امتیاز توانمندی شبکه دارد.

همان‌طور که بخش‌های قبلی گفته شده است، میزان جذب توان در گره تومور (گره ۳) بدان‌شان می‌دهد که رشد تومور و شبکه رگ زایی افزایش یافته شده است. برای ارزیابی مسیرهای ارتباطی تغییر پارامترهای آن با زمان مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به تغییر حالت بیمار باید وزن‌ها تغییر کنند، زیرا اکسیژن و مواد غذایی بیشتری باید از طریق مسیرها باهم تبادل شود.



شکل ۷: توانمندی شبکه در حالات مختلف

شکل ۷ میزان توانمندی شبکه با توجه به شرایط مختلف بیمار که شامل سه وضعیت؛ نرمال، نامطلوب ۱ و نامطلوب ۲ است، ترسیم شده است. حالت نرمال: باگذشت زمان پارامترهای گره‌های شبکه و وزن‌های مسیرهای ارتباطی تغییر نمی‌کند، در نتیجه وضعیت بدن در حال نرمال هست. همان‌طور که در معادله (۱۳) بیان گردید، گره‌های دیگر در حالت نرمال خون و مواد غذایی را به گره تومور (گره ۳) می‌رسانند. در شکل ۸ این حالت به صورت خط راست ترسیم شده است. وضعیت نامطلوب ۱: باگذشت زمان پارامترهای گره‌های شبکه و وزن‌های مسیرهای ارتباطی تغییر می‌کند، در نتیجه وضعیت بدن در حال غیرطبیعی هست. همان‌طور که در معادله (۱۳) بیان گردید، گره‌های دیگر در حالت غیرطبیعی خون و مواد غذایی را به گره تومور (گره ۳) می‌رسانند. نمودار شکل ۸ باگذشت زمان توانمندی شبکه تغییر کرده است. وضعیت نامطلوب ۲: باگذشت زمان پارامترهای گره‌های شبکه

و وزن‌های مسیرهای ارتباطی تغییر می‌کند، در نتیجه وضعیت بدن در حال غیرطبیعی هست. همان‌طور که در معادله (۱۳) بیان گردید، گره‌های دیگر در حالت بسیار غیرطبیعی خون و مواد غذایی را به گره تومور (گره ۳) می‌رسانند. نمودار شکل ۷ باگذشت زمان توانمندی شبکه تغییر نامطلوب‌تری کرده است.

در حالتی که گره سوم تومور تشخیص داده شود یعنی ضریب گذردهی بین ۹/۹-۸/۱ تغییر کند و ضریب رسانایی بین ۰/۳۶ تا ۰/۴۴ تغییر کند، نشان می‌دهد که بافت دارای فعالیت‌های تکثیر و رگ زایی هست. در نتیجه سایر گره‌ها قابلیت آن‌ها با توجه به فعالیت گره تومور بالا می‌رود. به علت فعالیت بالای گره تومور از گره یک و دو مقادیر زیادی خون دریافت کند، از گره دو به گره سه میزان جرم و فشارخون زیادی دریافت می‌شود و این شبکه با توجه به تغییر قابلیت‌های گره‌ها و مسیرها میزان امتیاز توانمندی آن تغییر می‌کند.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله، شبکه‌ی به‌منظور نظارت بر بافت سرطان را معرفی کردیم، سپس به‌منظور هوشمند سازی شبکه ساختار شبکه را بهبود داده‌ایم، به همین منظور گره و مسیر بین گره‌ها، امتیاز مناسب با توجه به توانمندی آن‌ها داده شده است. امتیاز توانمندی با توجه به عملکرد گره و مسیر در شبکه تغییر می‌کند، تغییر امتیاز توانمندی باعث هوشمندی شبکه می‌گردد. برای ارزیابی کل شبکه، ما به‌وسیله یک حسگر به‌صورت مداوم بر بافت تومور نظارت دارند، عملکرد تومور سرطان را مورد ارزیابی قرار داده می‌شود و همچنین تأثیر سایر بافت‌ها بر تومور را استخراج می‌شود. به‌منظور گسترش این مدل و مدل‌های مشابه آن می‌توان به تحلیل بازخوردهای شبکه و تحلیل مسیرهای ارتباطی در ابعاد گسترده‌تری استفاده نمود.

منابع

- [1] A. E. Attaoui, M. Hazmi, A. Jilbab and A. Bourouhou, "Wearable Wireless Sensors Network for ECG Telemonitoring Using Neural Network for Features Extraction," *wireless Personal Communications*, vol. 111, no. 10, pp. 1955-1976, Nov. 2019, doi:10.1007/s11277-019-06967-x.
- [2] GH. Imanian, M. A. Pourmina and A. Salahi, "Compressive Sensing-based Data Aggregation in Wireless Sensor Networks: A Review," *Journal of Communication Engineering*, vol. 11, no.42, pp. 1-14, 2022 (in Persian).
- [3] Y. Chen and P. E. Pace, "Simulation of information metrics to assess the value of networking in a general battlespace topology," *IEEE International Conference on System of Systems Engineering*, 2008, pp. 1-6, doi: 10.1109/SYSOSE.2008.4724133.
- [4] M. Magalhaes, T. E. Smith and P. E. Pace, "Adaptive node capability to assess the characteristic tempo in a wireless communication network," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 2012, pp. 3013-3018, doi: 10.1109/WCNC.2012.6214321.
- [5] J. Tuckman and J. Shillingford, "Effect of different degrees of tilt on cardiac output, heart rate, and blood pressure in normal man," *British Heart Journal*, vol. 28 ,no. 1, p. 32, 1966, doi: 10.1136/hrt.28.1.32.
- [6] G.-J. Jong and G.-J. Horng, "The PPG physiological signal for heart rate variability analysis," *Wireless Personal Communications*, vol. 97, no. 6, pp. 5229-5276, 2017, doi: 10.1007/s11277-017-4777-z.
- [7] S. Lorente, M. Hautefeuille, and A. Sanchez-Cedillo, "The liver, a functionalized vascular structure," *Scientific Reports*, vol. 10, no. 1, pp. 1-10, 2020, doi: 10.1038/s41598-020-73208-8.
- [8] S. Lorente, A. Torres, M. Hautefeuille, and A. Sanchez-Cedillo, "Hierarchical modeling of the liver vascular system," *Frontiers in physiology*, p. 1946, 2021, doi:10.3389/fphys.2021.733165.
- [9] B. M. Hussen *et al.*, "Signaling pathways modulated by miRNAs in breast cancer angiogenesis and new therapeutics," *Pathology-Research and Practice*, p. 153764, 2022, doi: 10.1016/j.prp.2022.153764.

- [10] M. Ahmadi and K. Mohamedpour, "A New Method for Recognizing Pulse Repetition Interval Modulation," *International Conference on Signal Processing Systems*, 2009, pp. 146-151, doi: 10.1109/ICSPS.2009.8.
- [11] E. Cianca and B. Gupta, "FM-UWB for communications and radar in medical applications," *Wireless Personal Communications*, vol. 51, no. 4, pp.793-809,2009, doi:10.1007/s11277-009-9772-6.
- [12] I. E. Khuda, M. I. Anis, and M. Aamir, "Numerical modeling of human tissues and scattering parameters for microwave cancer imaging systems," *Wireless Personal Communications*, vol. 95, no. 2, pp. 331-351, 2017, doi:10.1007/s11277-016-3895-3.
- [13] E. J. Bond, Xu Li, S. C. Hagness and B. D. Van Veen, "Microwave imaging via space-time beamforming for early detection of breast cancer," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 51, no. 8, pp. 1690-1705, Aug. 2003, doi: 10.1109/TAP.2003.815446.