نشریه مهندسی مکانیک ایران، دوره ۲۶، شماره ۱، شماره پیاپی۷۴، بهار ۱۴۰۳، صفحه ۹۶-۸۸
انجمن مهندسان مکانیک ایران
مقاله علمی پژوهشی
DOI: https://doi.org/10.30506/ijmep.2023.2000277.1932

طراحی و پیاده سازی یک سیستم کنترلی-حسگری مادون قرمز جهت تشخیص حباب هوا در لوله های دستگاه دیالیز صفاقی

سینا آتش‌باری[۱]
دانش آموخته کارشناسی

عرفان کریم‌میرزا[۲]
دانشجوی دکتری

نگین معنوی‌زاده[۳]
دانشیار

علیرضا خدایاری[۴]
دانشیار

امیر مسعود بیدگلی[۵]
استادیار

جلوگیری از ورود هوا همراه با مایع دیالیز صفاقی به دلیل آسیب هایی که می تواند به احشاء و دیافراگم وارد کرده و منجر به بروز دردهای ناحیه شکمی، عفونت و التهاب صفاق شود، بسیار مهم است. وجود سیستم تشخیص حباب و کنترل عدم ورود هوا در دستگاه دیالیز صفاقی الزامی بوده و از استانداردهای آن محسوب می شود. استفاده از حسگر مادون قرمز یکی از روش های مناسب تشخیص حباب در لوله کاتتر است. حسگرهای مادون قرمز به کاررفته به هنگام عبور مایع دیالیز در حدود ۱۲۰۰ میلی ولت خروجی تولید می کنند. ولتاژ تولید شده توسط حسگرهای مادون قرمز مستقل از سرعت عبور دستگاه بوده و خروجی آن به هنگام فعالیت موتور دستگاه دیالیز در سرعت های ۵۰، ۴۰ و ۳۰ دور بر دقیقه تقریبا ۱۲۰۰ میلی ولت است. این ولتاژ تولید شده به صورت پیوسته اندازه گیری شده و پردازنده از طریق کنترل حد آستانه ولتاژ خروجی تولید شده به عملکرد صحیح تشخیص حباب نظارت می کند. این کنترل حد آستانه برای تشخیص وجود حباب در لوله های دستگاه دیالیز میزان ۱۰۰۰ میلی ولت بوده و در صورت کاهش ولتاژ خروجی از این مقدار از ادامه عملکرد دستگاه دیالیز جلوگیری می شود تا از بروز آسیب های احتمالی به بیمار جلوگیری کند.

واژه‌های راهنما: دستگاه دیالیز صفاقی، حسگر مادون قرمز، کنترل حد آستانه، مدار الکترونیکی تشخیص حباب هوا، عفونت صفاق، لوله کاتتر

۱- مقدمه

بیماری مزمن کلیه که نارسایی مزمن کلیه نیز نامیده می‌شود، شامل از دست دادن تدریجی عملکرد کلیه است. کلیه‌ها مواد زائد و مایعات اضافی خون را فیلتر و سپس از طریق ادرار دفع می‌کنند [۱].

[۱] دانش آموخته کارشناسی، گروه الکترونیک، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران sinaatashbari78@gmail.com
[۲] دانشجوی دکتری، گروه الکترونیک، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران erfankarimmirza@email.kntu.ac.ir
[۳] دانشیار، گروه الکترونیک، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران manavizadeh@kntu.ac.ir
[۴] دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، تهران، ایران arkhodayari@yahoo.com
[۵] استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران am_bidgoli@iau-tnb.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۳۱، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۰۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵

بیماری مزمن کلیوی پیشرفته می‌تواند باعث ایجاد سطوح خطرناک مایع‌ها، الکترولیت‌ها و مواد زائد در بدن شود. در مراحل اولیه بیماری مزمن کلیه، ممکن است علائم یا نشانه‌های کمی وجود داشته باشد[۲]. ممکن است تا زمانی که این بیماری پیشرفت نکرده فرد بیمار متوجه بیماری کلیوی خود نشود، زیرا در بسیاری از موارد علائم بیماری کلیوی نامعلوم است[۳]. تشخیص عوامل خطرساز بیماری کلیوی از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا بیماری مزمن کلیه می‌تواند به مرحله نهایی نارسایی کلیه پیشرفت کرده که بدون انجام فیلتر مصنوعی (دیالیز) یا پیوند کلیه، کشنده خواهد شد[۴].

سه نوع مختلف دیالیز وجود دارد: درمان جایگزینی مداوم کلیه، همودیالیز و دیالیز صفاقی. همودیالیز رایج‌ترین نوع دیالیز است. در این فرآیند از یک کلیه مصنوعی (همودیالیزور) برای حذف مواد زائد و مایع اضافی از خون استفاده می‌شود. خون از بدن خارج و از طریق کلیه مصنوعی فیلتر می‌شود، سپس خون تصفیه شده با کمک دستگاه دیالیز به بدن بازگردانده می‌شود. درمان‌های همودیالیز معمولاً سه تا پنج ساعت طول می‌کشد و سه بار در هفته و اکثرا در بیمارستان، مطب پزشک یا مرکز دیالیز انجام می‌شود[۵, ۶].

دیالیز صفاقی نوعی فرآیند است که به منظور کمک به اقدامات کلیه‌ها انجام می‌گیرد. داخل شکم هر فرد پرده‌ای به نام صفاق وجود دارد که با اختلال در عملکرد کلیه‌ها از این پرده به منظور دفع مواد زاید بدن کمک می‌گیرند [۷]. در این فرایند، مقداری مایع تحت عنوان مایع تصفیه کننده وارد شکم بیمار می‌شود و پس از آن موارد زاید از جریانات خونی گرفته می‌شود. این مقدار مایع وارد شده به داخل شکم برای مدت زمان معینی در شکم می‌ماند و پس از آن به همراه مواد زاید و اضافی از بدن خارج می‌شود[۸]. دیالیز صفاقی، خود به دو دسته تقسیم می‌شود که عبارتند از صفاقی مداوم سرپایی[۱] و دیالیز صفاقی خودکار[۲]. نحوه اجرا دیالیز صفاقی سرپایی بدین صورت می‌باشد که کیسه حاوی مایع دیالیز در ارتفاعی بالاتر از بدن بیمار قرار گرفته و مایع داخل کیسه به یک‌باره و کنترل نشده وارد شکم بیمار می‌شود که می‌تواند سبب آسیب رساندن به دیواره‌های صفاق بیمار شود. نحوه عملکرد دستگاه دیالیز صفاقی خودکار نیز بدین صورت است که مایع دیالیز توسط یک پمپ که داخل دستگاه تعبیه شده از کیسه حاوی مایع دیالیز خارج شده و به داخل شکم بیمار هدایت و نهایتا در جهت عکس از بدن بیمار خارج شده و به داخل کسیه تخلیه وارد می‌شود[۶, ۷]. به دلیل استفاده از پمپ در داخل دستگاه دیالیز صفاقی خودکار و توجه به این نکته که در بسیاری از موارد، فرایند دیالیز در شب و در هنگامی که بیمار در حالت خواب قرار دارد عمل می‌کند، در صورت بروز خطا در عملکرد پمپ و یا آسیب دیدن مجرا انتقال مایع دیالیز به داخل شکم بیمار، احتمال ورود هوا به داخل شکم به همراه مایع دیالیز وجود خواهد داشت. وجود هوای آزاد در حفره صفاقی پنوموپریتونئوم[۳] نامیده می‌شود. به دلیل خطر بالای این امر که می‌تواند آسیب‌هایی به احشاء و دیافراگم وارد کند و باعث بروز دردهای ناحیه شکمی، عفونت و التهاب صفاق شود، یکی از استانداردهای دستگاه‌های دیالیز صفاقی خودکار وجود یک سیستم تشخیص حباب[۴] می‌باشد تا در صورت مشاهده حباب فرایند دیالیز را متوقف کرده و به بیمار هشدار دهد. بنابراین استفاده از یک سیستم دقیق و بدون خطا برای تشخیص حباب در این دستگاه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

---

[1] Continuous Ambulatory Peritoneal Dialysis (CAPD)
[2] Automated Peritoneal Dialysis Book (APD)
[3] pneumoperitoneum (PP)
[4] Bubble Detector

شکل ۱ – دستگاه دیالیز صفاقی خانگی

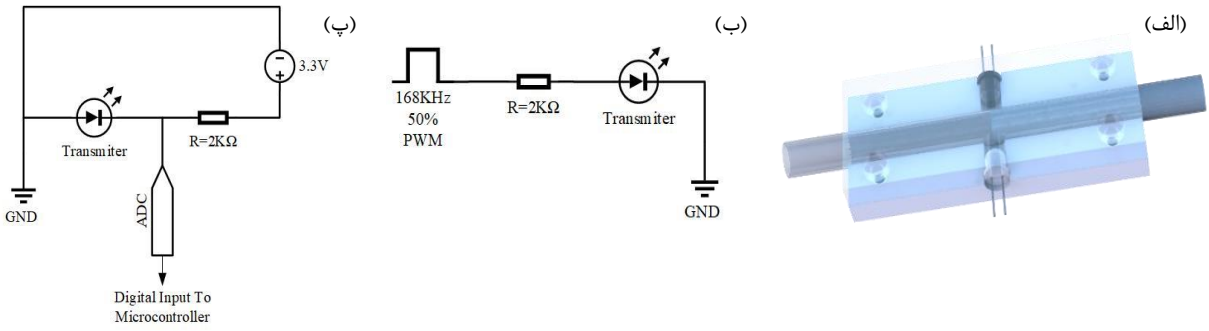
۲- طراحی سیستم کنترلی و حسگری مادون قرمز تشخیص حباب

هدف این مقاله، طراحی و ساخت سیستمی کنترلی جهت تشخیص هرگونه حباب در لوله‌های پمپ دستگاه دیالیز صفاقی است تا از ورود هوا به بدن بیمار جلوگیری کند. بدین منظور یکی از گزینه‌های مناسب از بین حسگرهای مادون قرمز، فراصوت، نوری، لیزری و مغناطیسی، حسگر مادون قرمز می‌تواند باشد. حسگر مادون قرمز ابزاری الکترونیکی است که برای حس کردن ویژگی‌های خاص در محیط اطراف استفاده می‌شود[۹]. این کار با انتشار تابش مادون قرمز انجام می‌گیرد. حسگرهای مادون قرمز همچنین قادر به اندازه‌گیری گرمای ساطع شده توسط جسم و تشخیص حرکت نیز هستند[۱۰]. برای انتقال پرتوهای اشعه مادون قرمز، یک محیط انتقال مورد نیاز است که می‌تواند از خلاء، جو و یا فیبرنوری تشکیل شود. تابش نور مادون قرمز برای چشم قابل رویت نیست و معمولا دارای طول موج‌هایی بین ۰/۷۵ تا ۱۰۰۰ میکرومتر هستند که می‌تواند توسط حسگر مادون قرمز شناسایی شود. فرستنده حسگر مادون قرمز به سادگی یک IR LED است و گیرنده حسگر نیز یک فوتودیود IR است که حساس به نور IR از همان طول موج است که توسط فرستنده منتشر می‌شود [۱۱]. هنگامی که نور IR بر روی فوتودیود می‌افتد، مقاومت و ولتاژ خروجی، نسبت به مقدار نور IR دریافتی تغییر می‌کند که بر همین اساس می‌توان به تشخیص حباب در لوله دستگاه‌های دیالیز صفاقی پرداخت.

همان طور که در شکل (۲- الف) مشاهده می‌شود به دلیل حساسیت بالای گیرنده و فرستنده حسگر مادون قرمز، آن‌ها در یک محفظه تاریک قرار گرفته اند تا تغییرات شدت نور محیط تاثیری بر خروجی حسگر نداشته و تنها مولفه تاثیرگذار بر عملکرد حسگر، تغییرات جریان مایع عبوری در لوله باشد. درضمن، به دلیل دقت بیشتر و جلوگیری از تضعیف سیگنال ولتاژ خروجی، گیرنده و فرستنده حسگر مادون قرمز رو به روی هم قرار گرفته اند.

در بخش فرستنده حسگر مادون قرمز همان طور که در مدار شکل (۲- ب) نیز دیده می‌شود، ورودی فوتودیود به یک پالس PWM با عرض پالس ٪۵۰ و فرکانس کاری ۱۶۸ کیلوهرتز به صورت بایاس مستقیم متصل شده است. به منظور کنترل جریان عبوری از مدار، از یک مقاومت ۲ کیلواهم استفاده شده است. برخلاف فرستنده حسگر مادون قرمز، گیرنده در بایاس معکوس کار می‌کند. برای تشخیص حباب های موجود در لوله، از یک میکروکنترلر ARM STM32F407 استفاده شده است. به همین دلیل سیگنال آنالوگ دریافتی باید توسط مبدل آنالوگ به دیجیتال، به دیجیتال تبدیل گردد. مبدل آنالوگ به دیجیتال مورد استفاده یک مبدل با قدرت تفکیک ۱۲ بیت و ولتاژ مرجع ۳/۳ ولت می باشد. نرخ نمونه برداری مورد استفاده نیز ۱ مگاهرتز می‌باشد که به منظور کاهش خطاهای ناخواسته در سیگنال دریافتی، میانگین هر ۱۰ نمونه متوالی به عنوان یک نمونه در نظر گرفته شده است که به عبارتی نرخ نمونه برداری را به ۱۰۰ کیلوهرتز می‌رساند. با توجه به نوع میکروکنترلر و مبدل آنالوگ به دیجیتال انتخاب شده، امکان پردازش اطلاعات خروجی با فرکانس بالا وجود خواهد داشت. این امکان اجازه می‌دهد که علاوه بر نمونه‌برداری بیشتر از اطلاعات، میانگین‌گیری از آنها و حذف داده‌های نامتعارف و اشتباه را انجام شود، تا بتوان بررسی دقیق‌تری از عملکرد حسگر و دستگاه دیالیز صفاقی انجام داده و اطمینان بیشتری از صحت و کارایی آنها به دست آورد. این قابلیت‌ها و امکانات میکروکنترلر و تبدیل کننده آنالوگ به دیجیتال، می‌توانند به‌طور قابل توجهی به بهبود کارایی و دقت دستگاه دیالیز صفاقی کمک کنند. از طریق فرآیندهای پردازشی با فرکانس بالا، اطلاعات به‌درستی مورد تحلیل قرار می‌گیرند و می‌توانند در بهبود و بهینه‌سازی عملکرد دستگاه مؤثر باشند. علاوه بر آن، عرض پالس و هم‌چنین فرکانس کاری ورودی مورد استفاده با توجه به بیشترین اختلاف دریافتی از خروجی انتخاب گردیده است. در خروجی حسگر مادون قرمز، به دلیل آن که خروجی سیستم تشخیص حباب در حالتی که هیچ حبابی وجود ندارد در حدود میانه بازه ولتاژ مرجع مبدل آنالوگ به دیجیتال باشد، مقاومت انتخابی ۲ کیلو اهم می‌باشد.

با توجه به اینکه حسگر نتایج را به‌صورت تغییرات ولتاژ نمایش می‌دهد، بررسی دقیق این نتایج اهمیت ویژه‌ای دارد. پارامترهای مختلفی از جمله سرعت گردش، غلظت و رنگ مایع عبوری و وجود حباب، عوامل تأثیرگذاری هستند که در ادامه به‌تفصیل بررسی خواهند شد. به‌طور کلی، در شرایط عادی، خروجی حسگر در بازه ۱۱۹۰ میلی‌ولت تا ۱۲۳۰ میلی‌ولت قرار دارد و ولتاژ در این بازه به صورت پیوسته در حال نوسان است. با تغییر غلظت و رنگ مایع، با توجه به تأثیری که بر روی عبور اشعه مادون قرمز می‌گذارد، همچنان نتایج به صورت نوسانات منظم شکل می‌گیرد، اما با توجه به تغییرات رخ‌داده، دامنه نوسان تغییر می‌کند.



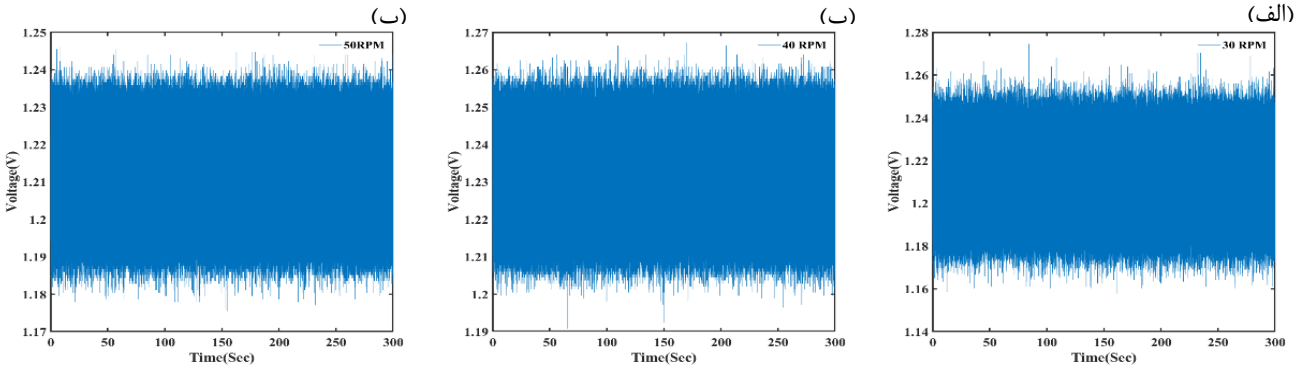
شکل ۲- (الف) شماتیک مدار تشخیص حباب و قرارگیری حسگرهای مادون قرمز، **(ب)** مدار فرستنده حسگر مادون قرمز و **(پ)** مدار گیرنده حسگر مادون قرمز

در نهایت، در صورت وجود حباب، به این معنی که مایعی در لوله وجود ندارد یا تمام لوله پر از مایع نیست، مطابق حالت قبلی، با توجه به تأثیری که بر روی سرعت حرکت اشعه عبوری می‌گذارد، تغییرات قابل مشاهده هستند. اما تفاوت آن با حالت قبلی این است که وجود حباب شرایط منظمی ندارد و این عدم نظم در مایع عبوری باعث ایجاد خروجی با دامنه‌های متفاوت می‌شود. با عبور از حد آستانه‌ای که تعیین شده، تشخیص حباب انجام می‌شود.

نتایج و بحث

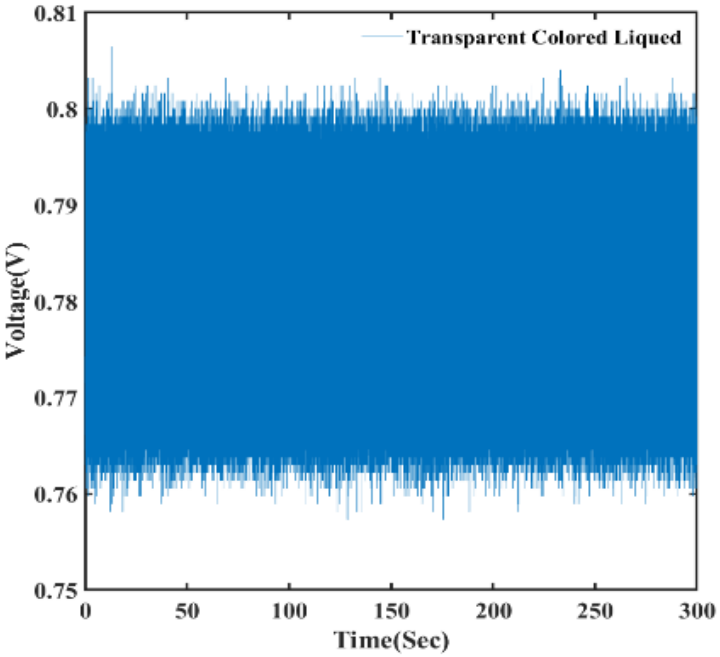
برای تعیین عمکرد سیستم تشخیص حباب، به بررسی تغییر پارامترهای سرعت گردش مایع، تغییر جنس مایع و ورود هم‌زمان مایع و هوا پرداخته شده است. یکی از مشکلاتی که ممکن است روند دیالیز صفاقی و عملکرد دستگاه دیالیز صفاقی را به مشکل می‌کشد، مربوط به پمپ دستگاه دیالیز صفاقی است. به‌طور معمول، پمپ دستگاه دیالیز صفاقی با سرعت ۵۰ دور بر دقیقه عمل می‌کند و مایع را به داخل شکم پمپ می‌کند. اگر سرعت پمپ کاهش یابد، با عدم وجود هر گونه حبابی در مسیر لوله، خروجی حسگر به‌طور تقریبی ثابت باقی می‌ماند و تغییر محسوسی نمی‌کند. این موضوع در شکل (۳) نشان داده شده است و بررسی‌ها برای سرعت‌های ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دور بر دقیقه انجام شده و ثبات نتایج در نمودار نمایش داده شده است. برای بررسی عملکرد حسگر در سرعت‌های مختلف به منظور جلوگیری از ورود هوا هنگامی که موتور دستگاه دیالیز صفاقی به درستی کار نمی‌کند، صحت عملکرد حسگر در سه سرعت ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دور بر دقیقه بررسی گردید. همان طور که در شکل (۳) مشخص است، با کاهش سرعت موتور دستگاه از حد استاندارد ۵۰ دور بر دقیقه تغییرات محسوسی در خروجی حسگر مشاهده نمی‌شود و تغییر ولتاژ خروجی حسگر در حدود ۲۰ میلی ولت می باشد و این حقیقت را آشکار می‌کند که کاهش سرعت موتور بر عملکرد سیستم تشخیص حباب اثری ندارد.

با توجه به مستقل بودن عملکرد سیستم تشخیص حباب به سرعت موتور دستگاه دیالیز صفاقی و دبی گردش مایع در لوله، کلیه آزمایشات انجام شده در سرعت استاندارد دستگاه یعنی ۵۰ دور بر دقیقه انجام گردید. اما اگر ماده‌ای به‌صورت ناخواسته به این مایع اضافه شود که باعث تغییر غلظت و رنگ آن می‌شود، بطور قطع بر روی خروجی حسگر نیز تأثیر خواهد گذاشت و تغییراتی در نتایج حسگر به‌وجود خواهد آمد، که در شکل (۴) نمایش‌داده شده است.

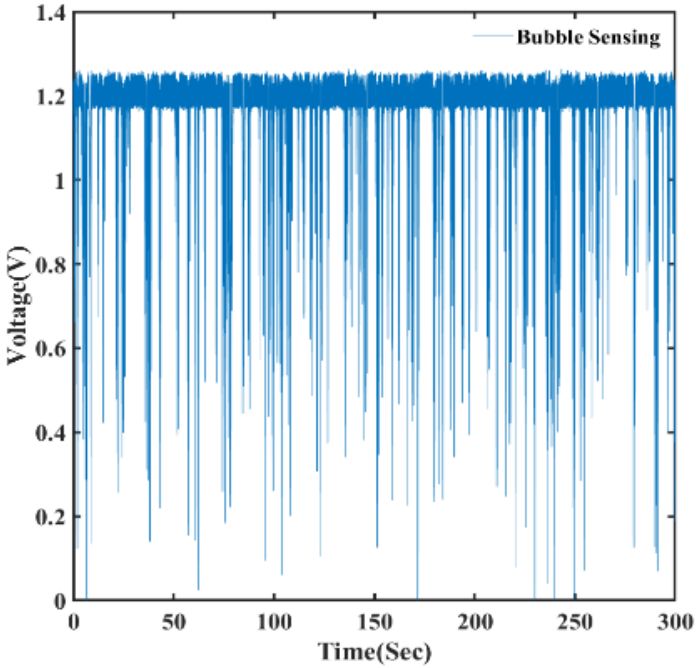


شکل ۳– نمودارهای ولتاژ خروجی سیستم تشخیص حباب در سرعت‌های **(الف)** ۳۰ دور بر دقیقه **(ب)** ۴۰ دور بر دقیقه **(پ)** ۵۰ دور بر دقیقه موتور دستگاه دیالیز صفاقی

با تغییر مایع در حال گردش به حالتی که هم چنان شفاف ولی با رنگ متفاوت باشد آزمایش فوق تکرار گردید که همان طور که در شکل (۴) قابل مشاهده است، خروجی حسگر ۴۰۰ میلی ولت کاهش یافته است که به دلیل تغییر رنگ بوده است. لازم به ذکر است کلیه آزمایشات انجام شده برای بررسی تکرارپذیری و اطمینان از صحت نتایج به دست آمده، ۴ مرتبه تکرار گردیده است.



شکل ۴- نمودار ولتاژ خروجی سیستم تشخیص حباب با مایع رنگی شفاف



شکل ۵- نمونه ای از وجود حباب و ترکیب هوا با مایع دیالیز صفاقی در لوله پلاستیکی شفاف داستگاه دیالیز صفاقی(کاتتر) به قطر ۸ میلی‌متر

مهم‌ترین بخش عمکرد سیستم تشخیص حباب، بروز مشکل در عبور مایع به دلایل مختلف و ایجاد حباب در لوله می‌باشد. به همین منظور آزمایشات متعددی در شرایطی که حباب با مقادیر مختلف در لوله وجود داشت، انجام شد.

در این پروژه، برای تشخیص وجود حباب، از روش کنترل حد آستانه (Threshold Control) استفاده می‌شود. برای بررسی ولتاژ خروجی حسگر در شرایطی که لوله‌ی پر از مایع است و هیچ حبابی وجود ندارد، آزمایش‌های مکرری انجام شده است. نتیجه‌ی این آزمایش‌ها نشان می‌دهد که ولتاژ خروجی حسگر در محدوده‌ای بین ۱۱۹۰ میلی‌ولت تا ۱۲۳۰ میلی‌ولت خواهد بود. هرگونه تغییری در مایع از جمله بروز حباب یا حضور مواد دیگر، باعث کاهش چشم‌گیر ولتاژ خروجی حسگر خواهد شد. در نتیجه موارد ذکر شده و با توجه به نمودار شکل (۵)، اگر ولتاژ خروجی از بازه‌ی مذکور خارج شده و به حد آستانه‌ی ۱۱۰۰ میلی‌ولت برسد، به عنوان یک خطا شناخته می‌شود و از ادامه‌ی عملکرد دستگاه جلوگیری می‌شود. این روش می‌تواند در تشخیص و جلوگیری از وقوع مشکلاتی که به دلیل حباب‌ها یا مواد دیگر در مایع دیالیز ممکن است رخ دهد، مفید و کارآمد باشد.

۳- جمع بندی و نتیجه گیری

وجود حباب در دستگاه های دیالیز صفاقی یکی از مشکلات رایج این دستگاه‌ها می‌باشد و این حباب برای فرد بیمار بسیار خطرناک است، به صورتی که وجود این سیستم تشخیصی، یکی از الزامات دستگاه‌های دیالیز صفاقی می‌باشد. در این مقاله سیستم تشخیص حباب با استفاده از حسگر مادون قرمز طراحی شد که دارای نرخ نمونه برداری ۱ مگاهرتزی می باشد. حسگر مادون قرمز به‌کار رفته هنگامی که خارج از لوله دستگاه دیالیز (کاتتر) قرار گرفته و مایع دیالیز به صورت کامل و بدون وجود هیچ گونه حبابی کاتتر را پر می‌کند میزان ۱/۲۵ ولت، ولتاژ خروجی تولید می‌کند. این ولتاژ تولید شده مستقل از سرعت حرکت مایع داخل لوله است به طوری که با کاهش سرعت موتور دستگاه از حد استاندارد ۵۰ دور بر دقیقه تا ۳۰ دور بر دقیقه، تغییرات محسوسی مشاهده نشد. علاوه بر آن با توجه به عملکرد صحیح این سیستم برای مایعات رنگی شفاف دیگر، در صورتی که به طور کامل کدر نباشد و امکان عبور پرتوهای مادون قرمز بین گیرنده و فرستنده وجود داشته باشد، این سیستم قابل استفاده است که می‌تواند با توجه به ولتاژ خروجی تولید شده مواد عبوری داخل لوله را نیز تعیین کند. این نتیجه به منظور بررسی عملکرد حسگر برای تشخیص خون یا هر ماده دیگری در مایع خروجی توسط مایع شفاف قرمز رنگ مورد آزمایش قرار گرفت که خروجی ۸۰۰ میلی‌ولتی را نشان می‌دهد. به منظور تشخیص حباب در لوله از کنترل حد آستانه خروجی حسگر مادون قرمز استفاده شد که در صورتی که خروجی حسگر مادون‌قرمز کمتر از ۱۰۰۰ میلی‌ولت باشد پردازنده از ادامه کار دستگاه جلوگیری می‌کند. در نهایت برای عمکرد بهتر این سیستم حسگرها در محفظه ای به دور از تغییرات شدت نور محیط قرار گرفت. سیستم کنترلی-حسگری مادون‌قرمز ساخته شده جهت تشخیص حباب هوا در لوله‌های دستگاه دیالیز صفاقی عملکرد بسیار دقیقی در تشخیص حباب هوا و وارد شدن مواد دیگر در مایع دیالیز داشته و می‌تواند از بروز آسیب‌های احتمالی به بیمار جلوگیری کند و ایمنی دستگاه دیالیز صفاقی را به خصوص در هنگام استفاده در منزل بسیار بالا ببرد.

مراجع

[1] M. Cozzolino, M. Mangano, A. Stucchi, P. Ciceri, F. Conte, and A. Galassi, "Cardiovascular Disease in Dialysis Patients," *Nephrology Dialysis Transplantation*, Vol. 33, No. suppl_3, pp. iii28-iii34, 2018, doi: https://doi.org/10.1093/ndt/gfy174.

[2] G. Cobo, B. Lindholm, and P. Stenvinkel, "Chronic Inflammation in End-stage Renal Disease and Dialysis," *Nephrology Dialysis Transplantation*, Vol. 33, No. suppl_3, pp. iii35-iii40, 2018, doi: https://doi.org/10.1093/ndt/gfy175.

[3] A. L. Ammirati, "Chronic kidney disease," *Revista da Associação Médica Brasileira*, vol. 66, pp. s03-s09, 2020, doi: https://doi.org/10.1590/1806-9282.66.S1.3.

[4] E. F. Carney, "The impact of chronic kidney Disease on Global Health," *Nature Reviews Nephrology*, Vol. 16, No. 5, pp. 251-251, 2020, doi: https://doi.org/10.1038/s41581-020-0268-7.

[5] A. Chuasuwan, S. Pooripussarakul, A. Thakkinstian, A. Ingsathit, and O. Pattanaprateep, "Comparisons of Quality of Life between Patients Underwent Peritoneal Dialysis and Hemodialysis: A Systematic Review and Meta-analysis," *Health and Quality of Life Outcomes*, Vol. 18, No. 1, pp. 1-11, 2020, doi: https://doi.org/10.1186/s12955-020-01449-2.

[6] A. Niang, A. Iyengar, and V. A. Luyckx, "Hemodialysis Versus Peritoneal Dialysis in Resource-limited Settings," *Current Opinion in Nephrology and Hypertension*, Vol. 27, No. 6, pp. 463-471, 2018, doi: https://doi.org/10.1097/MNH.0000000000000455.

[7] J. H. Crabtree *et al.*, "Creating and Maintaining Optimal Peritoneal Dialysis Access in the Adult Patient: 2019 Update," *Peritoneal Dialysis International*,Vol. 39, No. 5, pp. 414-436, 2019, doi: https://doi.org/10.3747/pdi.2018.00232.

[8] M. Wilkie and S. Davies, "Peritoneal Dialysis in the Time of COVID-19," *Peritoneal Dialysis International*, Vol. 40, No. 4, pp. 357-358, 2020, doi: https://doi.org/10.1177/0896860820921657.

[9] K. Katterbauer, A. F. Marsala, V. Schoepf, and E. Donzier, "A Novel Artificial Intelligence Automatic Detection Framework to Increase Reliability of PLT Gas Bubble Sensing," *Journal of Petroleum Exploration and Production*, Vol. 11, pp. 1263-1273, 2021, doi: https://doi.org/10.1007/s13202-021-01098-1.

[10] L. Becker, "Influence of IR Sensor Technology on the Military and Civil Defense," In *Quantum Sensing and Nanophotonic Devices III*, 2006, Vol. 6127: SPIE, pp. 180-194, doi: https://doi.org/10.1117/12.640529.

[11] P. Kumar and P. Kumar, "Arduino Based Wireless Intrusion Detection using IR Sensor and GSM," *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, Vol. 2, No. 5, pp. 417-424, 2013, doi: https://doi.org/10.1109/CTCEEC.2017.8455169.

Design and Implementation an Infrared Control-sensing System to Detect Air Bubbles in the Tubes of the Peritoneal Dialysis Machine

Sina Atashbari
B.Sc., Department of Electronics, Faculty of Electrical Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
sinaatashbari78@gmail.com

Erfan Karimmirza
Ph.D. Candidate, Department of Electronics, Faculty of Electrical Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
erfankarimmirza@email.kntu.ac.ir

Corresponding author: **Negin Manavizadeh**
Associate Professor, Department of Electronics, Faculty of Electrical Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
manavizadeh@kntu.ac.ir

Alireza Khodayari
Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, Tehran, Iran
arkhodayari@yahoo.com

Amir Masoud Bidgoli
Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran
am_bidgoli@iau-tnb.ac.ir

Abstract

Due to the damage that air can cause to the intestines and diaphragm, it is essential to prevent air from entering peritoneal dialysis fluid. Bubble detection systems and air infiltration control systems are mandatory components of peritoneal dialysis machines. An infrared sensor is one of the most efficient ways to detect bubbles in the catheter tube. As the dialysis fluid passes through the infrared sensors, an output of approximately 1200 millivolts is produced. The voltage produced by infrared sensors is independent of the device's speed. Approximately 1200 millivolts can be obtained when the motor of the dialysis machine operates at speeds of 50, 40, and 30 RPM. Continuous measurement of this voltage is performed, and the processor checks the correctness of bubble detection by limiting the threshold level of output voltage. This threshold control to detect bubbles in the dialysis machine tubes is 1000 millivolts. If the output voltage drops below this value, the operation of the dialysis machine is prevented to prevent possible injuries to the patient.

Keywords: Peritoneal dialysis device, Infrared sensor, Threshold limit control, Air bubble detection electronic circuit, Peritoneal infection, Catheter tube