

## طراحی و بررسی ساخت پمپ سرنگ الکترونیکی و کنترل دقیق آن با استفاده از

### میکروکنترلر AVR

عطاءاله پناهقلی<sup>1</sup>، حسن فرجی بگتاش<sup>2</sup>، علیرضا اعتقاد<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> صنعتی سهند، تبریز، ایران

\* [hfaraji@sut.ac.ir](mailto:hfaraji@sut.ac.ir)

[a\\_panahgholi@sut.ac.ir](mailto:a_panahgholi@sut.ac.ir)

[a\\_eteghad402@sut.ac.ir](mailto:a_eteghad402@sut.ac.ir)

### چکیده

پمپ سرنگ الکترونیکی دستگاهی است که حجم و دبی میلی لیتر به میکرولیتر را برای مدت معینی با دقت بسیار بالا کنترل می کند که به تدریج پیستون تزریق را فشار می دهد. کنترل میزان تزریق و جمع شدن پمپ سرنگ الکترونیکی یک بخش مهم در طراحی و عملکرد سیستم های الکترونیکی است. تخلیه مواد قطرات کوچک با ساختار و الگوی کنترل شده از طریق سوزن پمپ سرنگ بسیار مهم است. این مطالعه بر طراحی و کنترل یک پمپ سرنگ الکترونیکی و بررسی ساخت آن تمرکز دارد. پیشرفت تکنولوژی امکان استفاده از موتور را به عنوان نیروی محرکه سرنگ پر از مایعی که از طریق سوزن آزاد می شود را فراهم کرده است. طراحی با استفاده از یک موتور پله ای مبتنی بر AVR برای تنظیم نرخ جریان انتخاب شده است. این تحقیق شامل 2 قسمت طراحی و بررسی ساخت این دستگاه می باشد. سخت افزار با قطعات مورد نیاز برای ساخت پمپ سرنگ با AVR به عنوان هسته پردازشی سیستم و استپر موتور به عنوان فشار دهنده پیستون می باشد. پمپ سرنگ را می توان با صفحه کلید تنظیم کرد و روی صفحه نمایش نشان داد. سیستم قادر به کنترل مقادیر کوچک خواهد بود و امکان تنظیم و نرخ تحویل کوچک را فراهم می کند.

کلید واژه ها : پمپ، سرنگ، کنترل، میکروکنترلر، سوزن

### 1. مقدمه

پمپ سرنگ یک دستگاه تزریق کوچک است که برای تجویز کنترل شده مقادیر کمی دارو به بیمار یا برای استفاده در تحقیقات پلیمری و زیست پزشکی استفاده می شود [1]. به طور کلی دو نوع پمپ سرنگ وجود دارد: پمپ های تزریق پزشکی و پمپ های سرنگ تحقیقاتی. پمپ انفوزیون پزشکی وسیله ای است که برای رساندن مقادیر کنترل شده مایعات مانند مواد مغذی، داروها، شیمی درمانی و خون به بیماران استفاده می شود [2]. از سوی دیگر، پمپ سرنگ تحقیقاتی دستگاهی است که در آزمایشگاه های تحقیقاتی برای کاربردهایی مانند الکترونیسی استفاده می شود [3]. دقت عملکرد یا کارایی کنترل نرخ جریان برای کاربرد سیستم های میکروسیال قطرات بسیار مهم است. پمپ تزریق سرنگ الکترونیکی نقش مهمی در طراحی سیستم الکترونیسی دارد.

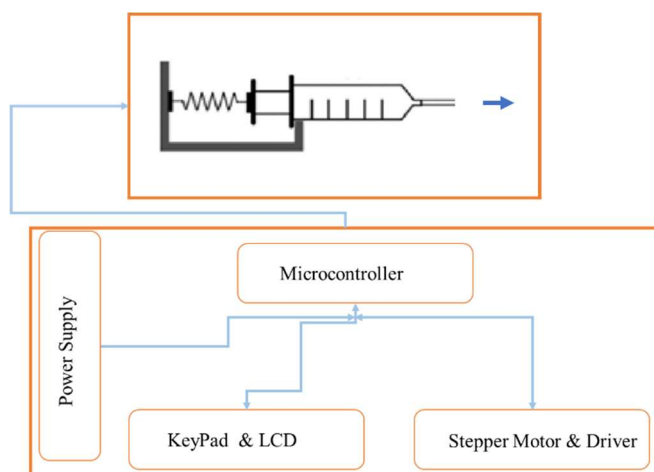
سیستم الکترورسی شامل سه بخش اصلی است که نانوالیاف پیوسته را با استفاده از منبع تغذیه با ولتاژ بالا، پمپ تزریق سرنگ الکترونیکی و درام/صفحه کلکتور [4] تولید می کند. امروزه نانوالیاف دارای چندین کاربرد علمی و تجاری امیدوارکننده مانند تحویل داروی زیست پزشکی، پزشکی و داروسازی، مواد پوشش دهنده مواد غذایی و بذر، تشخیص سرطان های مختلف، باتری های فسیلی و لیتیوم-هوا، حسگرهای الکترونیکی، پوشاک و فیلتراسیون هستند. مقدار دقیق محلول از پمپ سرنگ الکترونیکی بستگی به زمینه های تحقیقاتی، تعیین می شود. پارامترهای مختلف مانند وزن مولکولی، ویسکوزیته، رسانایی و کشش سطحی و غیره، پتانسیل الکتریکی سوزن، سرعت تزریق ماده و غلظت در نوک سوزن، فاصله بین سوزن و کلکتور، پارامترهای محیطی (دما، رطوبت و سرعت هوا در محفظه) [5].

این تحقیق طراحی و بررسی ساخت پمپ سرنگ الکترونیکی با استفاده از میکروکنترلر AVR می پردازد. کنترل پمپ سرنگ با قابلیت تزریق و جمع شدن در حالی که سطح کافی از تفکیک پذیری و تکرارپذیری را حفظ می کند یکی از وظایف چالش برانگیز است.

## 2. طراحی

این سیستم شامل میکروکنترلر AVR، مدار درایور استپر موتور، صفحه کلید، صفحه نمایش LCD و منبع تغذیه با نصب پمپ سرنگ می باشد که شماتیک عملکردی دستگاه در شکل 1 نشان داده شده است. بخش تایمر داخلی / شمارنده میکروکنترلر نقش مهمی در تولید سیگنال پله ای برای استپر موتور دارد. برای به دست آوردن نرخ تزریق میکرو mL/hr در پمپ سرنگ، انواع مختلف توالی پله بررسی شده است. توالی نیمه پله در مقایسه با سایر پله های استپر موتور بهتر است. هنگامی که حجم مایع و زمان تزریق برای خروج را بدانیم، سرعت جریان در ساعت قطعی خواهد بود. صفحه کلید برای تغییر حرکت پله ای ارائه شده است که بر این اساس میزان تزریق و جمع شدن ممکن است تغییر کند. [6-7].

در این تحقیق یک سیستم کنترلی پمپ سرنگی برای کنترل سرعت فلوی مایع یا محلول ساخته شده است. پمپ سرنگ با فشار دادن پمپ تزریق کار می کند که سرعت آن توسط سرعت فلوی محلول تنظیم می شود.



شکل 1: شماتیک یک پمپ سوزنی الکترونیکی قابل کنترل با میکروکنترلر

محاسبه تاخیر تزریق و جمع شدن سرنگ

ایجاد برنامه تاخیر تزریق و جمع شدن سرنگ در میکروکنترلر مستلزم تعیین مقادیر اولیه رجیسترها می باشد. با توجه به فرکانس 8 مگاهرتز کریستال، فرکانس ورودی تایمر 1 مگاهرتز (با پیش تقسیم 8) خواهد بود. هر واحد افزایش در تایمر معادل 1 میکروثانیه  $(1\mu s)$  است. اگر تاخیر 1000 میکروثانیه (1 میلی ثانیه) مورد نیاز باشد، باید مقدار اولیه تایمر را محاسبه کنیم.

Fatmega = 8 MHz

Prescaler = 8  $\rightarrow$  Ftimer0 =  $8/8 = 1$  MHz

Timer 0 =  $1/1M = 1\mu s$

این مقدار به صورت هگزادسیمال معادل FC18 است.

$255 - 1 = 254 \rightarrow$  Start : TCNT0 = 0xFE;

بنابراین در برنامه C، تنظیمات تایمر و استفاده از آن به صورت زیر خواهد بود:

```

void delay_us(unsigned int us) {
    unsigned int i;
    for (i = 0; i < us; i++) {
        TCNT0 = 0xFC; // در تایمر 0 بارگذاری مقدار
        TCCR0 = 0x01; // تنظیم تایمر 0 به صورت نرمال و شروع آن
        while ((TIFR & (1<<TOV0)) == 0); // انتظار تا پرچم سرریز تایمر تنظیم شود
        TCCR0 = 0x00; // توقف تایمر 0
        TIFR |= (1<<TOV0); // پاک کردن پرچم تایمر
    }
}
    
```



# دومین کنفرانس بین المللی پنجمین کنفرانس ملی تجهیزات و فناوری های آزمایشگاهی



هر میلی لیتر 2000 گام برای تزریق لازم دارد یعنی اگر هر پالس موتور را 3 میلی ثانیه فرض کنیم، برای بدست آوردن مدت زمان 1 میلی لیتر، باید محاسبات مربوطه را انجام داد. برای پیدا کردن معادله، مهم است که زمان لازم برای حرکت موتور به میزان 2000 پالس را محاسبه کرد. از روی شکل موج اسیلوسکوپ هر پالس موتور 3 میلی ثانیه محاسبه می شود.

اگر  $T_f$  را زمان نهایی مورد نیاز برای 2000 پالس موتور در نظر بگیریم،  $T_f$  برابر خواهد بود با:

$$T_f = T_i * 2000 = 3ms * 2000 = 6000ms = 6s$$

البته برای نتیجه بهتر این مقدار را 1 ثانیه بیشتر در نظر می گیریم.

برای کالیبره کردن پمپ سرنگ با حجم های مختلف سرنگ باید میزان جریان پمپ سرنگ را با توجه به زمان مشخص کرد. حجم مورد نظر سرعت جریان محلول از طریق نوک سوزن سرنگ بین 0.5 میلی لیتر تا 8 میلی لیتر در نظر گرفته می شود.

شبیه سازی و بررسی ساخت

در این تحقیق همان طور که توضیح داده شد از میکروکنترلر AVR برای دریافت و ارسال داده استفاده می شود و با استفاده از توضیحات بخش برنامه نویسی و پیشنهادات برای ساخت به بررسی این دستگاه پرداخته ایم:

دراپور استپر موتور L298

L298 یک دراپور استپر اختصاصی است که در قلب ماژول L298 تراشه بزرگ و مشکی L298N همراه با هیت سینک قرار دارد. ماژول L298 و به طور دقیق تر، ماژول L298N یک دراپور موتور پل اچ دو کاناله است که می تواند یک جفت موتور DC را کنترل کند.

صفحه کلید

صفحه کلید 4×4 یک دستگاه ورودی کوچک و مقرون به صرفه است که معمولاً در انواع پروژه های الکترونیکی استفاده می شود. این صفحه کلید شامل 16 دکمه است که در یک شبکه 4×4 مرتب شده اند. پیکربندی پین ممکن است بسته به مدل صفحه کلید متفاوت باشد، اما ایده کلی این است که ستون ها به پایه های ورودی میکروکنترلر وصل می شوند و ردیف ها به پایه های خروجی میکروکنترلر متصل می شوند. پین های کیبورد غشایی 4×4 از 8 پایه، 4 پایه برای ستون ها و 4 پین برای ردیف ها تشکیل شده است. پیکربندی پین ممکن است بسته به مدل صفحه کلید متفاوت باشد، اما ایده کلی این است که ستون ها به پایه های ورودی میکروکنترلر وصل می شوند و ردیف ها به پایه های خروجی میکروکنترلر متصل می شوند. شماتیک قسمت الکتریکی پمپ سرنگ طراحی شده در شکل 4 ارائه شده است.

استپر موتور

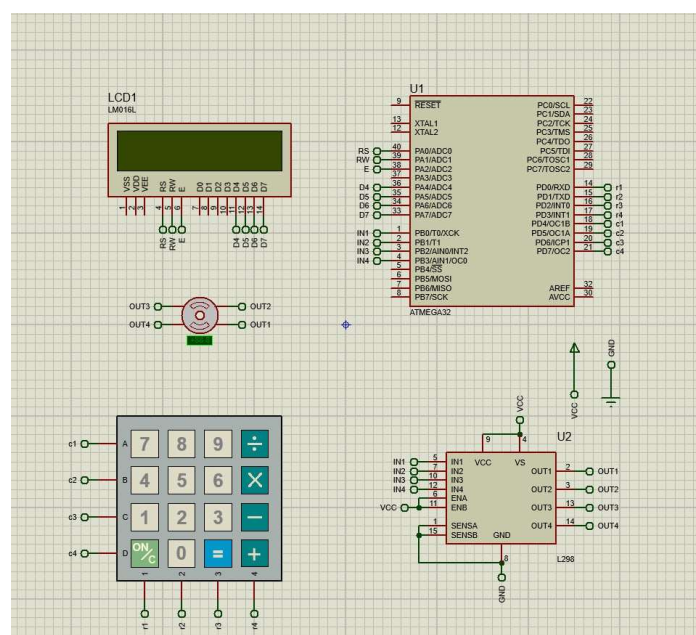
برای چرخش از استپر موتور استفاده می شود. به طور کلی، موتورهای پل توسط سیم پیچ های فعال کننده متوالی واقع در استاتور کار می کنند. روتور حاوی یک هسته آهنی دندانه دار یا آهنرباهای دائمی و یا هر دو مورد است. استپری که استفاده می کنیم از یک آهنربای دائمی دندانه دار تشکیل شده است. مهم ترین نکته ایجاد نمودار انتقال حالت برای سیم پیچ ها بر اساس عملکرد بهینه مدار کنترل است. هنگامی که کنترلر فعال نیست، حالت ها تغییر نمی کنند و در نتیجه موتور متوقف می شود. با این حال، هنگامی که

کنترلر فعال شود در 2 حالت حرکت بالا و پایین را خواهیم داشت یعنی در یک صورت موتور به سمت جلو و در حالت دیگر موتور به سمت عقب حرکت خواهد کرد.

یک سرنگ پلاستیکی حاوی مایع در قسمت نگهدارنده قرار می گیرد. هنگامی که نرخ جریان مایع تعیین می شود، موتور پله ای کوپلینگ را فشار می دهد تا مایع جریان یابد. سرعت تزریق (حرکت کوپلینگ) به قطر سرنگ و دبی تنظیم شده برای پمپ بستگی دارد.

### 3. نتایج و بحث

برنامه، کنترل یک استپر موتور را از طریق کپی عددی واقع در شکل 2 انجام می دهد. کاربر ابتدا مقدار حجم مورد نظر (به میلی لیتر) را از طریق کپی وارد می کند. عددهای وارد شده مستقیم به عنوان مقدار حجم در نظر گرفته می شوند و با زدن کلید # می توان حالت اعشار را فعال کرد. برای مثال اگر کاربر 5 و سپس # و سپس 3 را وارد کند، مقدار 5.3 میلی لیتر وارد می شود. با زدن کلید A، استپر موتور به سمت راست و با زدن کلید B به سمت چپ شروع به چرخش می کند. برنامه با استفاده از روابط توضیح داده شده در بخش میکروکنترلر، تعداد استپ های لازم برای چرخش موتور متناسب با حجم وارد شده را محاسبه می کند (هر میلی لیتر برابر با 2000 استپ در نظر گرفته شده است). با فشردن کلید C، استپر موتور متوقف می شود و با فشردن \*، حجم وارد شده ریست می شود و کاربر می تواند مقدار جدیدی وارد کند. این روال به کاربر امکان کنترل دقیق موتور را بر اساس حجم وارد شده از طریق کپی می دهد.



شکل 2: شماتیک دستگاه پیشنهادی و شبیه سازی آن در نرم افزار پروتئوس

#### 4. نتیجه گیری

در این مقاله طراحی مکانیزم کنترل میزان تزریق و سرعت جمع شدن انجام گرفت. الگوریتم میکروکنترلر کمک می کند تا سرعت گام برداشتن موتور و مکانیسمی که سرنگ را نگه می دارد تا حد زیادی قابل کنترل کند. همچنین برای ساخت اولیه آن تجهیزات مورد نیاز بررسی شد. با استفاده از صفحه کلید می توان میزان تزریق یا توقف را کنترل کرد همچنین در LCD مقدار تزریق را بصورت دقیق مشاهده کرد.

برای بحث در مورد عملکرد راه اندازی کامل، نیاز به اندازه گیری دقیق پارامترهای ضروری تنظیم تزریق، مانند انطباق مکانیکی سرنگ ها وجود دارد.

#### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله مراتب تقدیر و تشکر خویش را از اعضای آزمایشگاه تحقیقاتی الکترونیک دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی سهند به دلیل مشارکت مؤثر ایشان در مباحث علمی مرتبط با موضوع مطرح شده در این مقاله اعلام مینمایند.

#### منابع

- [1]Islam, M.R., Rusho, R.Z. and Islam, S.M.R., 2019, January. Design and implementation of low cost smart syringe pump for telemedicine and healthcare. In *2019 International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST)* (pp. 440-444). IEEE.
- [2] Shirzadfar, H. and Gordoghli, N., 2019. Design and Evaluation of an Intelligent Monitoring and Alarm System Based on a Noninvasive Fluid Level Sensor for Patients with Fibromyalgia. *International Journal of Electrical and Electronic Science*, 6(2), pp.8-16.
- [3]Supriyanto, A., Anggriani, R., Suciati, S.W., Junaidi, J. and Hadi, S., 2021. A control system on the syringe pump based on Arduino for electrospinning application. *Journal of Physical Science*, 32(1), pp.1-12.
- [4]Angammana, C.J. and Jayaram, S.H., 2016. Fundamentals of electrospinning and processing technologies. *Particulate Science and Technology*, 34(1), pp.72-82.
- [5]Ibrahim, H.M. and Klingner, A., 2020. A review on electrospun polymeric nanofibers: Production parameters and potential applications. *Polymer Testing*, 90, p.106647.
- [6]Timmerman, A.M., Snijder, R.A., Lucas, P., Lagerweij, M.C., Radermacher, J.H. and Konings, M.K., 2015. How physical infusion system parameters cause clinically relevant dose deviations after setpoint changes. *Biomedical Engineering/Biomedizinische Technik*, 60(4), pp.365-376.
- [7]Chinnappan, B.A., Krishnaswamy, M., Xu, H. and Hoque, M.E., 2022. Electrospinning of biomedical nanofibers/nanomembranes: effects of process parameters. *Polymers*, 14(18), p.3719.





## Designing and checking the construction of an electronic syringe pump and its precise control using an AVR microcontroller

Ataollah Panahgholi<sup>1</sup>, Hasan Faraji baghtash<sup>2\*</sup>, Alireza Eteghad<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

\* [hfaraji@sut.ac.ir](mailto:hfaraji@sut.ac.ir)

Presenter's E-mail: [a\\_panahgholi@sut.ac.ir](mailto:a_panahgholi@sut.ac.ir)

[a\\_eteghad402@sut.ac.ir](mailto:a_eteghad402@sut.ac.ir)

### Abstract

The electronic syringe pump is a device that controls the volume and flow of milliliters to microliters for a certain period of time with very high accuracy, which gradually pushes the injection piston. Controlling the amount of injection and contraction of the electronic syringe pump is an important part in the design and operation of electrospinning systems. Discharge of small droplets with a controlled structure and pattern through the needle of the syringe pump is very important. This study focuses on the design and control of an electronic syringe pump and its fabrication investigation. The advancement of technology has made it possible to use the motor as the driving force of the syringe filled with liquid that is released through the needle. The design is chosen using an AVR-based stepper motor to regulate the flow rate. This research includes two parts of designing and checking the construction of this device. The hardware is with the parts needed to make a syringe pump with AVR as the processing core of the system and stepper motor as the piston pusher. The syringe pump can be set by the keyboard and shown on the screen. The system will be able to manage small quantities and provide the possibility of setting small delivery rates.

**Keywords:** Pump, syringe, control, microcontroller, needle.