



به نام خدا

## سیستم‌های کنترل دیجیتال

### پروژه نهایی

۰۰-۰۱-۲

تاریخ بارگذاری: ۱۴۰۱/۰۳/۳۰

تاریخ تحویل: ۱۴۰۱/۰۴/۱۷

دستیار آموزشی مسئول: سید فرید موسوی (Farbodmoosavi@ut.ac.ir)

**مقدمه:** در این پروژه قصد داریم که سطح قند خون را در یک بیمار دیابت نوع ۱ کنترل کنیم. بیماری دیابت زمانی رخ می‌دهد که پانکراس<sup>۱</sup> نمی‌تواند انسولین کافی برای تنظیم میزان قند خون تولید کند. در دیابت نوع ۱ پانکراس هیچ انسولینی تولید نمی‌کند و بیمار برای کنترل قند خون خود کاملاً متکی به تزریق بیرونی انسولین است. ازدیاد قند خون (هایپرگلیسمی<sup>۲</sup>) زمانی رخ می‌دهد که گلوکز خون بیشتر از مقدار نرمال ( $8\text{mmol/L}$ ) در بازه‌ی زمانی طولانی شود. کم شدن قند خون (هیپوگلیسمی<sup>۳</sup>) نیز زمانی رخ می‌دهد که میزان قند خون به زیر  $3\text{mmol/L}$  برسد. هر دو این حالات برای سلامتی فرد بیمار مضر است. هایپرگلیسمی می‌تواند به از دست دادن بینایی، از کار افتادن کلیه و خطرات بلند مدت دیگر شود. هیپوگلیسمی در کوتاه مدت خطرات بیشتری دارد و می‌تواند به از دست دادن هوشیاری و به کما رفتن در چند ساعت شود. بازه‌ی نرمال قند بین افتادن کلیه و خطرات بلند مدت دیگر شود. هیپوگلیسمی در کوتاه مدت خطرات بیشتری دارد و می‌تواند به از دست دادن هوشیاری و به کما رفتن در چند ساعت شود. بازه‌ی نرمال قند بین  $3.8 - 5.6\text{mmol/L}$  می‌باشد که هدف کنترل قند خون نیز همین بازه است. در یک بدن سالم یک سیستم فیدبک طبیعی وجود دارد که براساس میزان گلوکز در خون به پانکراس دستور تولید انسولین را می‌دهد. در این پروژه سعی می‌کنیم توسط کنترلر مناسب بیرونی این کارکرد را برای بیمار شبیه سازی کنیم. مدل‌های زیادی برای توصیف سیستم گلوکز و انسولین در بدن انسان پیشنهاد شده است. در این جا ما از مدل برگمن که با سه معادله حالت سیستم را دینامیک های سیستم را توصیف می‌کند، استفاده می‌کنیم. معادلات حالت سیستم به صورت زیر می‌باشد:

<sup>1</sup> Pancreas

<sup>2</sup> Hyperglycemia

<sup>3</sup> Hypoglycemia

### \* دینامیک سیستم

$$\begin{cases} \dot{G} = -P_1 G - X(G + G_b) + D(t) \\ \dot{X} = -P_2 X + P_3 I \\ \dot{I} = -n(I + I_b) + U(t)/V \end{cases}, \quad \begin{cases} y = G \end{cases}$$

### \* حالت‌ها و ورودی(های) سیستم

سیستم کنترلی مبنا ۶ حالت و ۳ ورودی کنترلی دارد که در ادامه معرفی شده‌اند:

$G$ : میزان غلظت گلوکز بیش از مقدار مبنا ( $mmol/L$ ),

$X$ : متغیر وابسته به میزان انسولین،

$I$ : میزان غلظت انسولین بیش از مقدار مبنا ( $mU/L$ ),

$U$ : نرخ تزریق انسولین ( $mU/min$ ),

$D$ : اغتشاش وارد بر قند خون بر اثر خوردن غذا ( $mmol/Lmin$ ),

### \* پارامترها

$$\begin{cases} G_b = 4.5mmol/L \\ I_b = 15mU/L \\ P_1 = 0 \\ P_2 = 0.025min^{-1} \\ P_3 = 0.000013mU/L \\ V = 12L \\ n = 5.54/60 \end{cases}$$

### خواسته‌ها:

(۱) نقاط تعادل سیستم را بیابید و سیستم را حول یکی از نقاط تعادل معتبر سیستم خطی سازی کنید. سپس تابع تبدیل سیستم خطی را محاسبه کنید.

(۲) سعی کنید توسط یک کنترلر آنالوگ پس فاز، پیش فاز، تناسبی-انتگرالگیر-مشتقگیر یا ترکیبی از این کنترلرها سیستم را پایدار کنید و همچنین سیستم پایدار شده بالازدگی بیش از ۲۵ درصد و زمان نشست بیش از ۶۰۰ ثانیه نداشته باشد. پاسخ پله سیستم کنترل شده را رسم کنید و ویژگی‌های پاسخ گذرا و ماندگار آن را گزارش کنید.

(۳) با قرار دادن یک نگه دار مرتبه صفر بین کنترلر و سیستم گسسته سازی صورت می‌گیرد. سعی کنید با استفاده از روش های گسسته سازی صفر و قطب تطبیق یافته و تبدیل دوخطی کنترلر دیجیتال معادل را بیابید و در حلقه

دیجیتال قرار دهید. برای نرخ نمونه برداری سه مقدار متفاوت را براساس سیستم طوری انتخاب کنید که در پاسخ ها تفاوت ایجاد شود. به ازای این سه نرخ نمونه برداری پاسخ سیستم را برای هر دو روش رسم کنید. پاسخی که منطقی ترین نرخ نمونه برداری را دارد را از نظر ویژگی های زمانی با سیستم کنترل شده پیوسته مقایسه کنید.

۴) تابع تبدیل گسسته سازی شده سیستم اصلی پیوسته را محاسبه کنید (نرخ نمونه برداری را مانند بند قبل در نظر بگیرید) و نمودارهای مکان ریشه ها و بد سیستم را رسم کنید و ویژگی های آن ها از جمله بازه ای از بهره که سیستم پایدار میماند و حاشیه فاز و حاشیه بهره و پهنای باند را گزارش کنید.

۵) سعی کنید کنترلر گسسته ای برای این سیستم طراحی کنید که ویژگی هایی که در بند ۲ در نظر گرفته شده بود را تا حد امکان برآورده سازد.

۶) نمودار مکان ریشه ها و بد سیستم کنترل شده را رسم کنید و ویژگی های آن ها را با سیستم کنترل نشده مقایسه کنید.

۷) کنترل کننده مرده نوش برای ورودی پله را برای سیستم دیجیتال طراحی کنید.

۸) در این مرحله سه سیستم را در نظر بگیرید، دو سیستم که با نکه دار مرتبه صفر و طراحی کنترلر آنالوگ انجام شد و سیستمی که در حوزه کنترل دیجیتال برای آن کنترل طراحی کردید. به این سه سیستم یک نویز سفید جمع شونده در خروجی اعمال کنید و قابلیت سه سیستم را برای مقابله با این نویز بررسی کنید.

۹) براساس معادلات فضای حالت خطی شده پیوسته، معادلات خطی فضای حالت گسسته را با نرخ نمونه برداری مناسب بیابید. کنترل پذیری و مشاهده پذیری این تحقق از فضای حالت را تحقیق کنید.

۱۰) با فرض در دسترس بودن تمام متغیرهای حالت سیستم، برای سیستم فیدبک حالت را به نحوی طراحی کنید که پاسخ مرده نوش داشته باشد.

۱۱) حال فرض کنید که متغیرهای حالت را در اختیار نداشته باشیم. ابتدا برای سیستم یک مشاهده گر مرتبه کامل طراحی کنید و سپس سیستم با مشاهده گر را با فیدبک حالت طراحی شده در بند ۱۰ کنترل کنید و نتایج را با هم مقایسه کنید.