



به نام خدا  
دانشگاه تهران



دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پروژه درس کنترل خطی – زمستان 1403

سیستم کنترل قند خون

## فهرست

مقدمه.....	ت
قوانین.....	ت
مدل و پارامترها.....	ث
معادلات حالت سیستم تعامل قند خون و انسولین.....	ث
متغیرهای حالت و ورودی سیستم.....	ث
مقادیر عددی پارامترها.....	ث
فاز اول پروژه - آشنایی با سیستم و طراحی کنترل کننده در حوزه زمان.....	5
فاز دوم پروژه - تحلیل سیستم در حوزه فرکانس.....	6

## مقدمه:

در این پروژه قصد داریم که سطح قند خون را در یک بیمار دیابت نوع 1 کنترل کنیم [1]. بیماری دیابت زمانی رخ می دهد که پانکراس یا لوزالمعده نمی تواند انسولین کافی برای تنظیم میزان قند خون تولید کند. در دیابت نوع 1 پانکراس هیچ انسولینی تولید نمی کند و بیمار برای کنترل قند خون خود کاملاً متکی به تزریق بیرونی انسولین است. ازدیاد قند خون (هایپرگلیسمی زمانی رخ می دهد که گلوکز خون بیشتر از مقدار نرمال  $8 \text{ mmol/L}$  در بازه ی زمانی طولانی شود. کم شدن قند خون (هیپوگلیسمی) نیز زمانی رخ می دهد که میزان قند خون به زیر  $3 \text{ mmol/L}$  برسد. هر دو این حالات برای سلامتی فرد بیمار مضر است. هایپرگلیسمی می تواند به از دست دادن بینایی، از کار افتادن کلیه و خطرات بلند مدت دیگر منجر شود. هیپوگلیسمی در کوتاه مدت خطرات بیشتری دارد و می تواند منجر به از دست دادن هوشیاری و به کما رفتن در چند ساعت شود. بازه ی نرمال قند خون بین  $3.8-5.6 \text{ mmol/L}$  می باشد 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 می دهد. در این پروژه سعی می کنیم توسط کنترل کننده مناسب بیرونی این کارکرد را برای بیمار شبیه سازی کنیم و به نحوی یک پانکراس مصنوعی برای بیمار ایجاد کنیم. مدل های 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 دینامیک های سیستم را توصیف می کند، استفاده می کنیم. در این پروژه، هدف این است که دانشجویان ابزارهای مختلف درس "سیستم های کنترل خطی" را برای مدل سازی و کنترل قند خون در یک بیمار دیابتی به کار گرفته و شبیه سازی های مربوطه را در نرم افزار **Matlab** انجام دهند.

این پروژه در دو فاز طراحی شده است که در طول ترم در اختیار دانشجویان قرار خواهد گرفت. این فاز ها عبارتند از:

**فاز 1:** آشنایی با مدل سیستم و بررسی آن، استخراج تابع تبدیل و سپس طراحی کنترل کننده با استفاده از روش های حوزه زمان. (تاریخ تحویل: ۲۴ دی ماه ۱۴۰۳)

**فاز 2:** تحلیل و بررسی تابع تبدیل و سپس کنترل آن با استفاده از روشهای حوزه فرکانس.

پیش از پاسخ دادن به پرسش‌ها و خواسته‌های پروژه، موارد زیر را با دقت مطالعه نمایید:

- از پاسخ خود یک گزارش مرتب (شامل نام اعضای گروه و عنوان پروژه) با نام مناسبی برای فایل آن (برای مثال: نام پروژه و شماره گروه) تهیه نمایید.
- **کیفیت گزارش شما در فرآیند تصحیح از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.** بنابراین، لطفاً تمامی نکات و فرض‌هایی را که در پیاده‌سازی‌ها و محاسبات خود در نظر می‌گیرید در گزارش ذکر کنید.
- در گزارش خود، برای شکل‌ها زیرنویس و برای جدول‌ها بالانویس در نظر بگیرید. پاسخ به سوالات مطرح شده، شامل **شکل**، **خروجی شبیه‌سازی**، **تحلیل نتایج** و **نتیجه‌گیری** است. به هر شکل و جدولی که در گزارش می‌آورید باید با استناد به شماره شکل و یا جدول در متن گزارش ارجاع داده شود. در شکل‌ها متغیر و واحد هر محور باید نوشته شده باشد.
- تحلیل نتایج در همه قسمت‌ها الزامی است.
- نرم‌افزار پیشنهادی برای شبیه‌سازی‌ها، نرم‌افزار Matlab است. کد شبیه‌سازی باید بدون خطا و صرفاً با اعمال Run در Matlab اجرا شود و مطابق با متن گزارش باشد.
- لطفاً گزارش، کدها و سایر ضمایم را در یک پوشه با نام مناسب (برای مثال: نام پروژه و شماره گروه) قرار داده و آن را فشرده سازید، سپس در پوشه تعیین شده در سامانه Elearn بارگذاری نمایید.

در صورت داشتن هرگونه سوال در خصوص این پروژه با آدرس ایمیل زیر در ارتباط باشید:

farbodmoosavi@ut.ac.ir

## مدل و پارامترها

### معادلات حالت سیستم تعامل قند خون و انسولین

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

### متغیرهای حالت و ورودی سیستم

سیستم کنترلی مذکور ۳ متغیر حالت و ۱ 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)،

### مقادیر عددی پارامترها

پارامترهای مدل	مقدار پارامترها
$G_b$	$4.5 \left(\frac{mmol}{L}\right)$
$I_b$	$15 \left(\frac{mU}{L}\right)$
$P_1$	0
$P_2$	$0.025 \left(\frac{1}{min}\right)$
$P_3$	$0.000013 \left(\frac{mU}{L}\right)$
V	12 (L)
n	$\frac{5.54}{60}$

## فاز اول پروژه - آشنایی با سیستم و طراحی کنترل کننده در حوزه زمان

1. در ابتدا و قبل از هر تحلیلی، در مورد چگونگی مدل سازی سیستم تعامل انسولین و قند خون در بدن انسان و دو مدل دیگر که به جز مدل معرفی شده وجود دارند تحقیق کنید و تفاوت های آن ها را بررسی کنید. همچنین بلوک دیاگرام مدل برگمن را با در نظر گرفتن پارامترهای تعریف شده و ورودی مرجع و اغتشاش رسم کنید.
2. با توجه به معادلات فضای حالت سیستم که غیرخطی است، نقاط تعادل سیستم را بدست آورید و معتبر بودن هر کدام را با توجه به مفهوم فیزیولوژیک مدل و هر متغیر حالت بررسی کنید و در ادامه پروژه فقط از نقاط تعادل معتبر در سیستم استفاده کنید.
3. با در نظر گرفتن یکی از نقاط تعادل معتبر بدست آمده در خواسته قبل، معادلات حالت سیستم را حول آن نقطه خطی سازی کنید و با استفاده از آن تابع تبدیل سیستم را بدست آورید. دقت کنید تابع تبدیل سیستم باید هم نسبت به ورودی مرجع و هم نسبت به اغتشاش بدست آمده باشد.
4. با در نظر گرفتن فیدبک واحد منفی برای سیستم تعامل قند خون و انسولین، نمودار مکان ریشه سیستم را به ازای همه مقادیر بهره رسم کنید و آن را تحلیل کنید. همچنین مشخص کنید به ازای چه بازه ای از بهره سیستم حلقه بسته پایدار است.
5. در این مرحله سعی کنید در حوزه زمان و با استفاده از تحلیل مکان ریشه های سیستم، ساده ترین کنترل کننده ممکن را برای سیستم طراحی کنید به نحوی که بتواند قند خون بیمار را از هر سطح دلخواهی کنترل کند. همچنین پاسخ پله سیستم زمان نشست حداکثر ۳۰۰ ثانیه و بالازدگی حداکثر ۱۰ درصد داشته باشد.
6. با توجه به اینکه در این سیستم اغتشاش از طریق غذا خوردن وارد می شود و سعی در رفع آن داریم، ابتدا با شبیه سازی بررسی کنید که آیا کنترل کننده طراحی شده در مرحله قبلی قابلیت رفع اغتشاش را دارد یا نه. در صورتی که کنترل کننده پیشنهادی این قابلیت را داشت با بررسی تابع تبدیل خروجی نسبت به اغتشاش آن را اثبات کنید و در صورتی که توانایی رفع اغتشاش را ندارد سعی کنید کنترل کننده جدیدی برای سیستم طراحی کنید. (اغتشاش وارد به سیستم را در شبیه سازی یک سیگنال دندانده اراهی در نظر بگیرید که در 1 ثانیه مقدار آن به نیم می رسد و سپس صفر می شود).
7. پاسخ پله سیستم کنترل شده توسط کنترل کننده نهایی (کنترل کننده ای که هم ویژگی های خواسته شده را دارد و هم اغتشاش را می تواند رفع کند) را رسم کرده و ویژگی های حالت گذرا و ماندگار آن را بدست آورید.

8. نمودار مکان ریشه سیستم کنترل شده را رسم کرده و آن را تحلیل کنید و مشخص کنید که به ازای چه بازه‌ای از بهره سیستم پایدار خواهد بود و شرایط پایداری را با سیستم کنترل نشده مقایسه کنید.
9. کنترل‌کننده طراحی شده را به سیستم اصلی اعمال کنید و پاسخ پله را در این حالت رسم کنید. ویژگی‌های حالت گذرا و ماندگار آن را بدست بیاورید و با سیستم خطی مقایسه کنید.

### فاز دوم پروژه - تحلیل سیستم در حوزه فرکانس

1. نمودار نایکویست سیستم اصلی جبران نشده را رسم کنید و به وسیله آن حاشیه فاز و حاشیه بهره سیستم را مشخص کنید. همچنین تعیین کنید به ازای چه بازه‌ای از بهره سیستم پایدار خواهد شد.
2. حال نمودار نایکویست سیستم کنترل شده را رسم کنید و مقایسه کنید حاشیه فاز و حاشیه بهره به نسبت سیستم جبران نشده چگونه فرق کرده است.
3. نمودار بد سیستم جبران نشده را رسم کنید و آن را تحلیل کنید.
4. سعی کنید با استفاده از نمودار بد سیستم، در حوزه فرکانس کنترل کننده ای برای سیستم طراحی کنید که حاشیه فاز سیستم 60 درجه و حاشیه بهره حداقل 6 دسیبل داشته باشد.
5. نمودار بد سیستم کنترل شده را رسم کنید و آن را با نمودار سیستم جبران نشده مقایسه کنید.
6. پاسخ پله سیستم کنترل شده را رسم کنید و آن را با سیستم کنترل شده در فاز 1 مقایسه کنید.

مراجع:

[1] R.N. Bergman, L.S. Philips, C. Cobelli, "Physiological evaluation of factors controlling glucose tolerance in man," *J.clin.Invest*, vol 68, pp. 1456-1467, 1981.