اولین کنگره بین‌المللی تحول خدمات سلامت: تلفیق مراقبت، درمان، بازتوانی و امیدبخشی

سنسور تشخیص قند خون بدون روش تهاجمی

Non-Invasive Blood Glucose Detection Sensor

آروین عزتی[1] · مرضیه نفرسفیددشتی[2] · تینا حضرتی صومعه[3]*

[1] گروه مهندسی پزشکی (بیوالکتریک)، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز | [2] گروه مهندسی پزشکی (بیوالکتریک)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

[3] گروه مهندسی پزشکی (بیوالکتریک)، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

* نویسنده مسئول: hazrati.tina@gmail.com

A چکیده

مقدمه: کنترل مداوم گلوکز خون برای مدیریت دیابت حیاتی است، اما خون‌گیری مکرر با درد و خطر عفونت همراه است. **روش‌ها:** داده‌های حسگرهای نوری، الکتریکی، مایکروویو و سیگنال‌های فیزیولوژیک پیش‌پردازش شد و دو مدل Ridge و Gradient Boosting برای پیش‌بینی گلوکز آموزش دید. **یافته‌ها:** مدل Gradient Boosting با $MAE = 5.18$، $RMSE = 6.85$ و $R^2 = 0.85$ از Ridge دقیق‌تر بود. **نتیجه‌گیری:** ترکیب فناوری‌های غیرتهاجمی با یادگیری ماشین پایش مداوم گلوکز را ممکن می‌کند.

واژگان کلیدی: دیابت ملیتوس، قند خون، پایش قند خون توسط خود بیمار، دستگاه‌های الکترونیکی پوشیدنی، یادگیری ماشین، تکنیک‌های زیست‌سنجی، مایکروویو

1 مقدمه

دیابت با افزایش مزمن قند خون همراه است و کنترل نامناسب آن به بیماری‌های قلبی‌عروقی، آسیب کلیه، نوروپاتی و رتینوپاتی می‌انجامد [1]. خودمراقبتی، رژیم غذایی و آموزش بیمار در کنترل قند خون مؤثرند [2-4].

روش‌های تهاجمی دقیق‌اند، اما درد، عفونت و دشواری پایش روزانه دارند [5,6]؛ از این رو فناوری‌های غیرتهاجمی مبتنی بر سیگنال‌های بیولوژیک مورد توجه‌اند.

فناوری‌های غیرتهاجمی پایش گلوکز

- **نوری:** طیف‌سنجی NIR و رامان بر پایه جذب و پراکندگی نور در بافت [7]
- **مایعات بدن:** عرق، بزاق و مایع اشکی با حسگرهای الکتروشیمیایی [8]
- **پوشیدنی:** ساعت و دستبند هوشمند با ترکیب چند حسگر [9,10]
- **مایکروویو:** تغییر خواص دی‌الکتریک بافت با غلظت گلوکز [11-14]

چالش‌های اصلی: حساسیت به شرایط محیطی، نیاز به کالیبراسیون و تفاوت‌های فردی [15].

هدف: برآورد سطح گلوکز خون از سیگنال‌های غیرتهاجمی و مقایسه عملکرد دو مدل رگرسیون Ridge و Gradient Boosting.

2 روش‌ها

نوع مطالعه: پژوهشی کاربردی، مبتنی بر مدل‌سازی داده؛ پیاده‌سازی در محیط پایتون.



2-1. کانال‌های ورودی

دسته	متغیرها
نوری	جذب NIR، شدت رامان
الکتریکی/ پوستی	امپدانس پوست، هدایت عرق
مایکروویو	پارامتر S11 (دسی‌بل و خطی)
فیزیولوژیک	دمای پوست، ضربان قلب، شاخص پرفیوژن، سطح حرکت
مشتق‌شده	نسبت NIR به رامان، امپدانس نرمال‌شده

جدول 1. کانال‌های ورودی مدل

2-2. پیش‌پردازش

نرمال‌سازی با StandardScaler و تبدیل داده‌های S11 از مقیاس دسی‌بل به مقیاس خطی برای یکسان‌سازی مقیاس ویژگی‌ها.

2-3. مدل‌سازی

- **Ridge:** مدل خطی با انتخاب پارامتر α به کمک اعتبارسنجی پنج‌تایی (RidgeCV)
- **Gradient Boosting Regressor:** یادگیری روابط غیرخطی میان کانال‌ها و گلوکز

هر دو مدل بر مجموعه آموزش برازش و بر مجموعه آزمون ارزیابی شدند.

2-4. شاخص‌های ارزیابی

$$MAE = (1/n)\ \Sigma\ |y_i - \hat{y}_i|$$

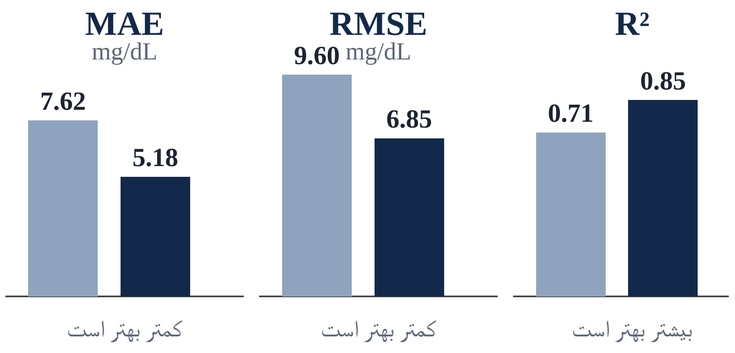
$$RMSE = \sqrt{[(1/n)\ \Sigma\ (y_i - \hat{y}_i)^2]}$$

$$R^2 = 1 - \Sigma(y_i - \hat{y}_i)^2\ /\ \Sigma(y_i - \bar{y})^2$$

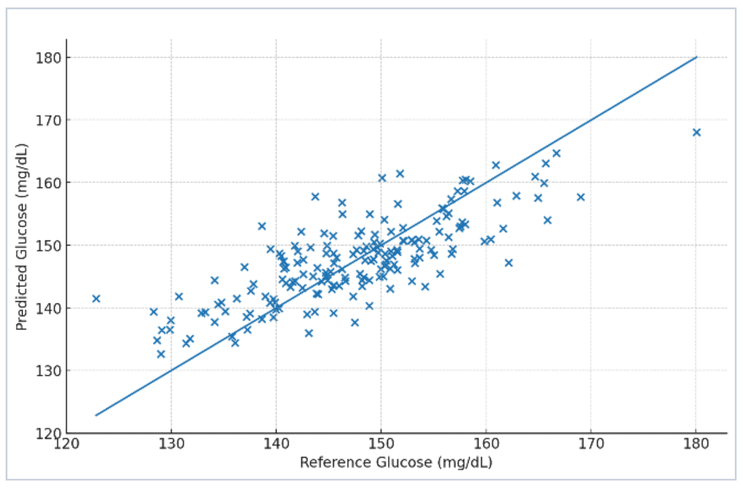
3 یافته‌ها

مدل	MAE (mg/dL)	RMSE (mg/dL)	R^2
Ridge Regression	7.62	9.60	0.71
Gradient Boosting	**5.18**	**6.85**	**0.85**

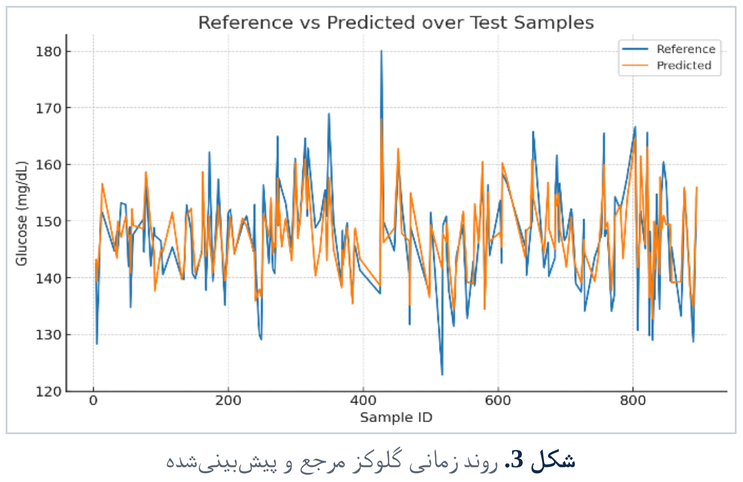
جدول 2. مقایسه عملکرد مدل‌ها بر مجموعه آزمون



شکل 1. شاخص‌های خطا و ضریب تعیین: Ridge ■ Gradient Boosting ■



شکل 2. مقادیر مرجع در برابر پیش‌بینی‌شده



شکل 3. روند زمانی گلوکز مرجع و پیش‌بینی‌شده

4 بحث و محدودیت‌ها

مدل Gradient Boosting با یادگیری روابط غیرخطی دقیق‌تر از Ridge بود؛ تمرکز نقاط حول خط همانی و انطباق منحنی‌ها نشان می‌دهد تغییرات پویای گلوکز به‌خوبی دنبال شده است. **محدودیت‌ها:** مقایسه تنها دو الگوریتم، نبود اعتبارسنجی خارجی یا بالینی و حساسیت حسگرها به محیط و حرکت. **پیشنهاد:** مدل‌های ترکیبی چندحسگری و کاهش هزینه حسگرها.

5 نتیجه‌گیری

ترکیب فناوری‌های غیرتهاجمی با یادگیری ماشین، پایش مداوم و شخصی‌سازی‌شده گلوکز را ممکن می‌کند. مدل Gradient Boosting با RMSE حدود 2.75 mg/dL کمتر و R^2 به میزان 0.14 بیشتر از Ridge، می‌تواند هسته سامانه‌های پوشیدنی هوشمند باشد؛ اعتبارسنجی بالینی بر جمعیت‌های بزرگ‌تر لازم است.

6. منابع

1. Hosseinzadeh S, Vahedi M, Davar S. Evaluation of blood glucose control and determination of its influencing factors in patients with type 2 diabetes using generalized estimating equations. J Isfahan Med Sch. 2020;38(576):347-53. [Persian]
2. Torabi Delui S. Investigating the effect of diet on blood glucose control in type 2 diabetic individuals. 3rd Int Conf Phys Educ Nutr Sports Med; 2024. [Persian]
3. Hemmatmakan N, Golshani F, Baghdasarians A, Emamipour S. The effect of self-care education on blood glucose, diabetic quality of life, and emotional-behavioral disorders in adolescents with diabetes. J Diabetes Nurs. 2020;9(1):1274-86. [Persian]
4. Omidi A, Miri F, Khodaveisi M, Karami M, Mohammadi N. The effect of home care education on blood glucose control in type 2 diabetic patients. Avicenna J Nurs Midwifery Care. 2014;22(3):24-32. [Persian]
5. Farmer AJ, Wade AN, French DP, Simon J, Yudkin P, Gray A, et al. Blood glucose self-monitoring in type 2 diabetes: a randomised controlled trial. Health Technol Assess. 2009;13(15):1-72.
6. Kirk JK, Stegner J. Self-monitoring of blood glucose: practical aspects. J Diabetes Sci Technol. 2010;4(2):435-9.
7. Villena Gonzales W, Mobashsher AT, Abbosh A. The progress of glucose monitoring—a review of invasive to minimally and non-invasive techniques, devices and sensors. Sensors (Basel). 2019;19(4):800.
8. Reddy VS, Agarwal B, Ye Z, Zhang C, Roy K, Chinnappan A, et al. Recent advancement in biofluid-based glucose sensors using invasive, minimally invasive, and non-invasive technologies: a review. Nanomaterials (Basel). 2022;12(7):1082.
9. Kamišalić A, Fister I Jr, Turkanović M, Karakatič S. Sensors and functionalities of non-invasive wrist-wearable devices: a review. Sensors (Basel). 2018;18(6):1714.
10. Ghovanloo M. Wearable and non-invasive assistive technologies. In: Wearable sensors. Academic Press; 2021. p. 593-627.
11. Costanzo S. Non-invasive microwave sensors for biomedical applications: new design perspectives. Radioengineering. 2017;26(2):406-10.
12. Korostynska O, Dzogovic B, Mason A. Microwave sensors: implication of long-term non-invasive monitoring for health. In: 2021 IEEE Sensors; 2021. p. 1-4.
13. Omer AE, Shaker G, Safavi-Naeini S, Kokabi H, Alquié G, Deshours F, et al. Low-cost portable microwave sensor for non-invasive monitoring of blood glucose level: novel design utilizing a four-cell CSRR hexagonal configuration. Sci Rep. 2020;10(1):15200.
14. Kandwal A, Sharma YD, Jasrotia R, Kit CC, Lakshmaiya N, Sillanpää M, et al. A comprehensive review on electromagnetic wave based non-invasive glucose monitoring in microwave frequencies. Heliyon. 2024;10(18).
15. dos Santos CC, Lucena GN, Pinto GC, Júnior MJ, Marques RF. Advances and current challenges in non-invasive wearable sensors and wearable biosensors—a mini-review. Med Devices Sens. 2021;4(1):e10130.