

پیش‌بینی نوسانات سطح قند خون در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۱ با استفاده

از شبکه‌های عصبی خودبازگشتی المن

(یادداشت پژوهشی)

سعید راحتی قوچانی^(۱) سید احسان تهامی^{(۲)*}

(۱) استادیار، گروه مهندسی پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

(۲) کارشناس ارشد، باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

تاریخ ثبت اولیه: ۸۵/۷/۲۵ تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۸۶/۴/۱۳ تاریخ پذیرش: ۸۶/۶/۲۵

چکیده یکی از عوارض خطرناک بیماری دیابت نوع یک افزایش و یا کاهش ناگهانی سطح غلظت قند خون می‌باشد که باعث بروز خطراتی چون اغما و بیهوشی خواهد شد. بنابراین استفاده از روشی مناسب به منظور پیش‌بینی و در نهایت پیش‌گیری از این عوارض گام مهمی در جهت کنترل بهینه بیماری محسوب می‌شود. به همین منظور در این مقاله سعی شده است تا به کمک شبکه‌های عصبی خودبازگشتی نوسانات سطح غلظت قند خون بیماران مبتلا به دیابت نوع ۱ پیش‌بینی شود. داده‌های پزشکی مورد استفاده در این مقاله مربوط به ۳ بیمار زن ایرانی مبتلا به دیابت نوع یک است که شامل الگوهایی چون نوع و دز انسولین تزریقی، فاصله زمانی بین ساعات ثبت سطح غلظت قند خون و نیز سطح غلظت قند خون در ابتدای بازه زمانی می‌باشد. در پایان تحقیق با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که شبکه‌های عصبی خودبازگشتی با کاهش قابل ملاحظه‌ای در خطای پیش‌بینی نسبت به دیگر روشهای متداول، می‌تواند به عنوان مدلی مناسب به منظور پیش‌بینی نوسانات سطح غلظت قند خون در بیماران مبتلا به دیابت نوع یک تلقی گردد.

واژه‌های کلیدی دیابت، پیش‌بینی نوسانات سطح غلظت قند خون، شبکه عصبی خودبازگشتی، شبکه عصبی

پرسپترون.

*عهده دار مکاتبات

نشانی: مشهد بلوار فردوسی - خیابان مهدی ۱۹ - حر ۱۹ - پلاک ۷ - کدپستی: ۹۱۹۷۹-۹۵۱۳۸

تلفن: ۰۵۱۱ - ۶۶۸۷۵۷۸ - پست الکترونیکی: Ehsantahami@yahoo.com

۱- مقدمه

مدل‌های ریاضی و مینیمال [۱-۶] که عمدتاً به منظور تعیین حساسیت بدن بیمار در پاسخ به گلوکز تزریقی و نیز پیش‌بینی کوتاه مدت سطح قند و انسولین موجود در بدن مورد استفاده قرار گرفته‌اند، مدل‌های مبتنی بر رویکردهای احتمالاتی [۷] که مشابه با مدل‌های ریاضی به منظور مدل‌سازی سیستم متابولیکی بدن مورد استفاده قرار گرفته‌اند و سیستم‌های خبره [۸-۱۳] که به منظور پیش‌بینی وضعیت سطح قند خون بیمار در آینده استفاده شده‌اند، اشاره نمود.

از جمله مشکلاتی که در مدل‌های یاد شده به چشم می‌خورد عدم وجود اطلاعات کافی و کامل است که بتوان از آن طریق به مدلی مشابه مدل واقعی دست یافت، زیرا مدل‌ها اگرچه ممکن است کاملاً صحیح عمل نمایند اما زمانی که با یکدیگر ترکیب می‌گردند خطا در خروجی مدل افزایش خواهد یافت. همچنین به این موارد می‌توان تعداد کم ویژگی‌ها و پارامترهای تأثیرگذار بر نوسانات سطح قند خون مورد استفاده در مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی را نیز افزود که این خود باعث ایجاد خطاهایی در پیش‌بینی سطح قند خون بدن خواهد شد.

با توجه به ماهیت دینامیکی نوسانات سطح قند خون و نیز ساختار دینامیکی شبکه‌های عصبی بازگشتی، در این مقاله از شبکه عصبی بازگشتی‌المن به منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی نوسانات سطح قند خون استفاده شده است. ضمن اینکه به منظور نشان دادن تطبیق پذیری بهتر شبکه عصبی‌المن نسبت به شبکه عصبی پرسپترون چندلایه در فرآیند پیش‌بینی سطح قند خون، مقایسه‌هایی نیز میان این دو نوع شبکه عصبی صورت گرفت.

۲- داده و روش

۲-۱- داده‌های مورد استفاده

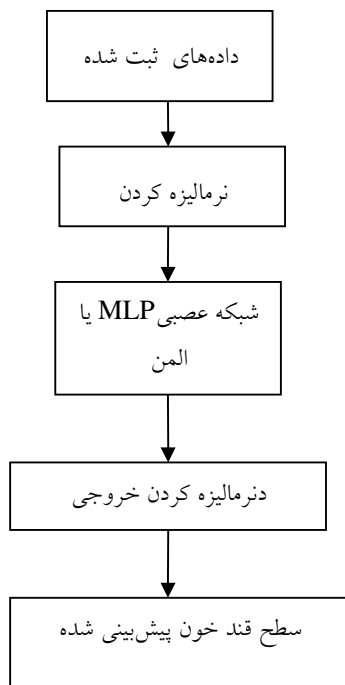
کل داده‌های ثبت شده برای این تحقیق مربوط به ۳ بیمار زن مبتلا به دیابت نوع ۱ در سنین بین ۱۷ تا ۲۶ سال در شهرستان مشهد می‌باشد. که در این مقاله فقط

بیماری دیابت از جمله بیماری‌های شایع و بسیار خطرناک دنیای معاصر است که سالانه خسارات مادی و معنوی بسیار زیادی را متوجه جوامع و کشورها می‌سازد. در حال حاضر در ایران ۲ تا ۳ میلیون نفر به این بیماری مبتلا می‌باشند که نیمی از آنها حتی از ابتلاء خود آگاهی ندارند. این بیماری را می‌توان به دو نوع تقسیم نمود: نوع ۱-یا نوع وابسته به انسولین (IDDM) که در این نوع لوزالمعده شخص مبتلا به دیابت قادر به ترشح انسولین نمی‌باشد و نوع ۲ یا نوع غیر وابسته به انسولین (NIDDM) که در آن لوزالمعده شخص مبتلا به دیابت قادر به تولید و ترشح انسولین می‌باشد اما میزان جذب آن در بافت‌های بدن بسیار پایین است. مشکل عمده‌ای که در حال حاضر در رابطه با این بیماری مخرب و خطرناک و به خصوص در نوع ۱ آن وجود دارد افزایش (Hyper Glycemia) و یا کاهش (Hypo Glycemia) بیش از حد و ناگهانی سطح قند خون است که از جمله عوارض بسیار خطرناک آن محسوب می‌گردد و می‌تواند حتی به بیهوشی و اغماء بیمار منتهی گردد. همچنین مشکل دیگری که در بیماران دیابتی وجود دارد تنظیم دز انسولین تزریقی بدون دانستن پاسخ سطح قند خون بدن به تزریق این مقدار انسولین می‌باشد. در بسیاری مواقع همین عدم اطلاع از میزان تزریق انسولین خود باعث بوحود آمدن مشکلاتی حاد و در برخی مواقع حتی غیر قابل جبران می‌گردد.

به همین منظور استفاده از روش‌هایی که بتوان از آن طریق ضمن کاهش تعداد اندازه‌گیری‌های قند خون و جلوگیری از اثرات متعاقب ناشی از این اندازه‌گیری‌ها به نوعی وقوع عوارض خطرناک احتمالی یاد شده را پیش‌بینی نمایند، می‌تواند مهمترین گام به منظور تشخیص، کنترل و حتی درمان مناسب این عوارض تلقی گردد.

تا کنون روش‌های متفاوتی برای رسیدن به این مهم مورد استفاده قرار گرفته‌اند که از آن جمله می‌توان به

۲-۲- روش مورد استفاده. در این روش ابتدا داده‌ها مورد پردازش اولیه قرار می‌گیرند تا بتوانند به منظور کاربرد در شبکه عصبی مورد استفاده قرار گیرند. به این منظور ابتدا داده‌ها نرمالسازی گردیده‌اند در مرحله بعدی داده‌های نرمالسازی شده به شبکه‌های عصبی داده می‌شوند و سرانجام خروجی شبکه عصبی دنرمالیزه می‌شود تا در نهایت فرآیند پیش‌بینی صورت پذیرد بلوک دیاگرام سیستم مورد استفاده در این مقاله در شکل (۱) آورده شده است.



شکل ۱ بلوک دیاگرام سیستم طراحی شده پیش‌بینی نوسانات سطح غلظت قند خون در افراد مبتلا به دیابت نوع ۱.

۲-۳- نرمالسازی داده‌ها

در مرحله نرمالسازی، داده‌های موجود برای هر ویژگی، مطابق با رابطه (۱) نرمالسازی می‌شوند:

$$X_i = \frac{x_i - m}{\sigma_x} \quad (1)$$

که در این رابطه X_i داده نرمال شده، m میانگین کل

از داده‌های مربوط به بیمار ۲۶ ساله استفاده شده است. به منظور ثبت این داده‌ها، دفترچه‌های مخصوصی با مشورت و راهنمایی پزشک معالج، در اختیار بیماران قرار گرفت و پس از اتمام دوره ثبت و با تأیید پزشک معالج، داده‌های مورد نظر جمع‌آوری و استفاده شد. پارامترها (ویژگی‌های) مورد نیاز لحاظ شده در دفترچه-های ثبت داده‌ها عبارتند از:

- سطح غلظت قند خون در ابتدای بازه زمانی (mg/dlit)
- دز انسولین کوتاه اثر تزریقی به بدن (unit)
- دز انسولین طولانی اثر تزریقی به بدن (unit)
- سطح استرس (unit)
- سطح فعالیت بدنی (unit)
- کربوهیدرات مصرفی (gr)
- زمان میان ابتدا و انتهای بازه زمانی (hour)

مدت زمان ثبت مورد استفاده در این تحقیق ۱۳۵ روز می‌باشد. از این تعداد ۷۵٪ تعداد داده‌های ثبت شده برای هر نفر به منظور آموزش شبکه عصبی و ۲۵٪ به منظور آزمایش آن مورد استفاده قرار می‌گیرند.

گفتنی است که میزان فعالیت بدنی و نیز میزان سطح استرس با انتخاب یکی از اعداد ۱ تا ۴ که به ترتیب بیان‌کننده وضعیت معمولی (۱)، کم (۲)، متوسط (۳) و زیاد (۴) می‌باشد توسط هر شخص و با توجه به وضعیت جسمانی و شرایط روحی و روانی مختص به خود او و به صورت کیفی تعیین شده و سپس در زیر ساعت مشخص شده در جداول ثبت نوشته می‌شود. نمونه‌ای از داده‌های ثبت شده در جدول ۱ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۱ نمونه‌ای از مجموعه داده

قند خون بعدی	زمان	کربوهیدرات	سطح فعالیت بدنی	سطح استرس	انسولین طولانی اثر	انسولین کوتاه اثر	قند خون اولیه
۲۲۰	۸	۳	۲	۰	۸	۱۰	۱۸۰
۶۵	۹	۶	۰	۱	۵	۹	۲۵۰

شده است، به کمترین مقدار خود برسد (در این رابطه $t(k)$ خروجی مورد انتظار، $a(k)$ خروجی واقعی شبکه و N تعداد تکرارها می باشد).

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (t(k) - a(k))^2 \quad (3)$$

لازم است به این نکته نیز اشاره شود که در ابتدای شروع به کار الگوریتم، مقادیری به عنوان مقادیر اولیه وزن ها و به صورت کاملاً تصادفی انتخاب می شوند و سپس این مقادیر در طول اجرای الگوریتم بهبود می یابند. پارامترها و مشخصات شبکه عصبی پرسپترون مورد استفاده در این مقاله در جدول (۲) قابل مشاهده می باشد.

جدول ۲ مشخصات ساختار شبکه عصبی پرسپترون

تعداد ورودی	۷
ساختار شبکه عصبی	[۵ ۱]
نرخ یادگیری	۰.۰۱
تعداد تکرارها	۳۰۰
خطای نهایی	۰.۱

از دیگر نکاتی که لازم است به آن اشاره شود این است که اصولاً از آنجا که داده های ثبت شده در این مقاله به شرایط فیزیولوژیکی بیمار همچون قد، وزن، وجود و یا عدم وجود بیماری دیگر در بیمار، جنسیت و حتی عواملی غیر فیزیولوژیکی که تأثیراتی غیر مستقیم در نوع داده ها خواهند داشت؛ همچون محل زندگی بیمار (شهر، کشور و منطقه جغرافیایی)، آب و هوا، نژاد و ... وابسته می باشند، لذا شبکه عصبی پیش بین باید برای هر فرد از طریق داده هایی که توسط خود او جمع آوری می گردد آموزش ببیند و نمی توان یک سیستم آموزش دیده را برای چند فرد مختلف مورد استفاده قرار داد. نتایج به دست آمده از شبکه عصبی پرسپترون یاد شده را در دو قسمت آموزش و آزمایش شبکه برای یکی از بیماران می توان در شکل (۲) مشاهده نمود.

داده های مربوط به هر ویژگی و σ_x انحراف معیار کل داده های مربوط به هر ویژگی می باشد.

۲-۴- شبکه های عصبی پرسپترون چند لایه

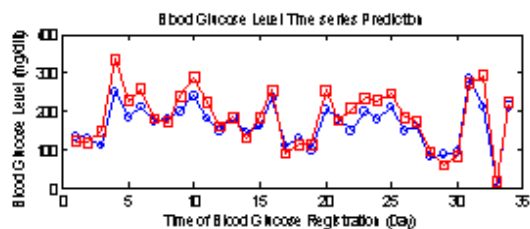
شبکه های عصبی چند لایه ی پرسپترون به دلیل قابلیت های با ارزش پردازش موازی و یادگیری، عمدتاً به منظور حل مسائل پیچیده مورد استفاده قرار می گیرند. فرآیند یادگیری در این شبکه ها از طریق الگوریتم های یادگیری خاصی صورت می گیرد که با تنظیم وزن های موجود در ارتباطات بین نورون ها، اقدام به آموزش شبکه می کنند.

یکی از شبکه های عصبی مورد استفاده در این مقاله، شبکه عصبی پرسپترون سه لایه است. معیار یادگیری شبکه عصبی پرسپترون چند لایه مورد استفاده، بر مبنای تابع پس انتشار خطا (Back Propagation) خواهد بود. لازم به ذکر است که شبکه عصبی یاد شده در محیط نرم افزار مطلب (MATLAB) شبیه سازی و اجرا شده است.

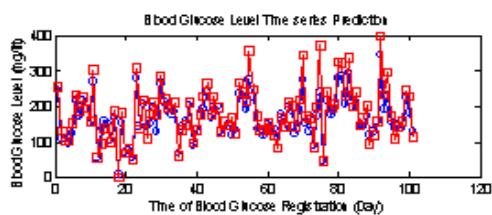
توابع محرک نورون های هر لایه از شبکه عصبی به نوعی به منظور تعیین میزان حد و آستانه خروجی نورون به کار می روند که در الگوریتم مورد استفاده در این مقاله از تابع (pure line) در لایه خروجی و از تابع (tansig) آن در لایه میانی شبکه عصبی استفاده شده است. همچنین وزن ها در این شبکه عصبی با توجه به الگوریتم یاد شده (الگوریتم پس انتشار خطا) و به صورت خودکار در طی مراحل تکرار الگوریتم و با استفاده از رابطه (۲) بهبود می یابند،

$$X_{k+1} = X_k - a_k g_k \quad (2)$$

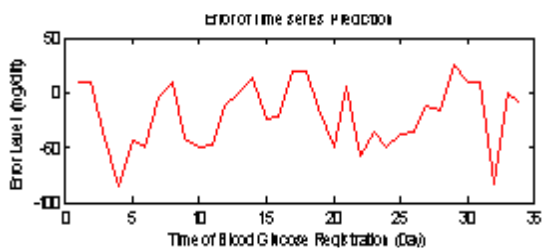
به عبارتی دیگر مقدار وزن x در هر لحظه برابر است با مقدار وزن در لحظه قبل بعلاوه تابع گرادیان خطا g_k در هر مرحله که در نرخ یادگیری a_k ضرب شده است و این رابطه آنقدر تکرار می شود تا در نهایت بردار وزن ها به مقدار بهینه خود برسد که به ازای آن مقدار، معیار خطا که در اینجا از معیار متوسط مربعات خطا (Mean Square Error) رابطه (۳) استفاده



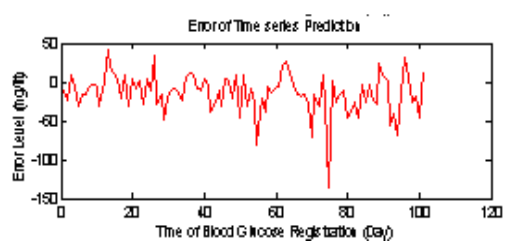
(ت)



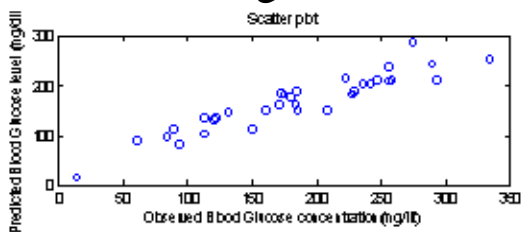
(الف)



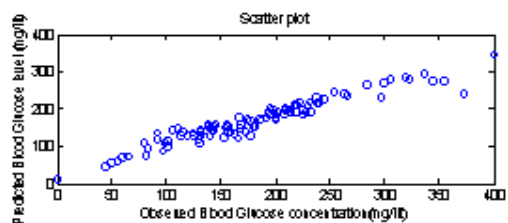
(ج)



(ب)



(د)



(پ)

شکل ۲ (الف) نمودار سری زمانی مربوط به داده‌های واقعی مرحله آموزش شبکه عصبی MLP با علامت دایره و مقادیر پیش‌بینی شده با علامت مربع می‌باشد که نمودار خطای پیش‌بینی (ب) و تابع پراکندگی (پ) مرحله آموزش نیز به ترتیب در زیر آن مشخص گردیده است. (ت) شامل نمودار سری زمانی مربوط به داده‌های واقعی مرحله آزمایش شبکه عصبی MLP با علامت دایره و مقادیر پیش‌بینی شده با علامت مربع می‌باشد که نمودار خطای پیش‌بینی (ج) و تابع پراکندگی (د) مرحله آزمایش نیز به ترتیب در زیر آن مشخص گردیده است.

جدول ۳ شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با تعداد نورون‌های لایه مخفی ثابت و برابر ۵

تعداد تکرارها	RMSE		MAE	
	آموزش شبکه	آزمایش شبکه	آموزش شبکه	آزمایش شبکه
۳۰۰	۱۹.۶۲۸۸	۲۸.۵۴۲۳	۷.۲۱۰۰	۶.۵۱۸۴
۱۰۰	۳۵.۴۷۰۶	۳۸.۶۴۶۲	۲۶.۵۸۱۶	۱۵.۲۵۳۰
۵۰	۴۸.۵۲۰۹	۵۶.۲۵۶۱	۱۳.۳۱۴۵	۰.۹۹۵۹

شبکه و نیز، معیار به روز شدن وزن‌ها درست مشابه شبکه عصبی پرسپترون سه لایه ذکر شده قبلی می‌باشد، با این تفاوت که فقط خروجی لایه مخفی با ضرب یک تأخیر در وزن‌هایی مشخص به ورودی لایه مخفی اعمال می‌گردد که در نهایت خروجی های لایه مخفی شبکه به همراه خروجی کل شبکه به ترتیب با استفاده از روابط (۶) و (۷) محاسبه می‌گردد. نمونه‌ای از شبکه عصبی خودبازگشتی ال‌من مورد استفاده در این مقاله در شکل ۳ قابل مشاهده می‌باشد.

$$a_j(k) = \text{tansig}(X_i \cdot IW_{ij} + a_j(k-1) \cdot LW_{ij}) \quad (6)$$

$$\text{BGL} = \text{pureline}(a_j(k) \cdot V_j) \quad (7)$$

در این روابط، پارامتر LW_{ij} وزنهای ضرب شده در خروجی تأخیر، X_i الگوهای ورودی، IW_{ij} وزنهای ضرب شده در ورودی شبکه عصبی، $a_j(k)$ خروجی لایه مخفی، V_j وزنهای ضرب شده در خروجی لایه مخفی و BGL بیانگر سطح قند خون بیمار می‌باشد. نتایج حاصل از شبکه عصبی خودبازگشتی ال‌من را در نمودارهای شکل (۴) می‌توان مشاهده نمود. همچنین مقادیر میانگین قدر مطلق خطا و نیز جذر میانگین مربعات خطا برای دو حالت آموزش و آزمایش شبکه عصبی پرسپترون سه لایه با پنج نورون در لایه مخفی و به ازای تعداد تکرارهای مختلف در جدول (۵) و نیز، با تعداد تکرارهای ثابت ۱۰۰ و به ازای تعداد نورون‌های مختلف در جدول (۶) قابل مشاهده می‌باشد.

لازم به ذکر است که بلوکهای D موجود در شکل (۳) مشخص کننده تأخیر می‌باشند.

در نهایت مقادیر میانگین قدر مطلق خطا (Error) و Root Mean Square و نیز جذر میانگین مربعات خطا ($\text{Absolute Error Mean}$) برای دو حالت آموزش و آزمایش شبکه عصبی به ترتیب با استفاده از روابط (۴) و (۵) محاسبه شده است که نتایج آن برای شبکه عصبی پرسپترون سه لایه با پنج نورون در لایه مخفی و به ازای تعداد تکرارهای مختلف در جدول (۳) و نیز، با تعداد تکرارهای ثابت ۱۰۰ و به ازای تعداد نورون‌های مختلف در جدول (۴) قابل مشاهده می‌باشد.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (t(k) - a(k))^2} \quad (4)$$

$$\text{MAE} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^n |t(k) - a(k)| \quad (5)$$

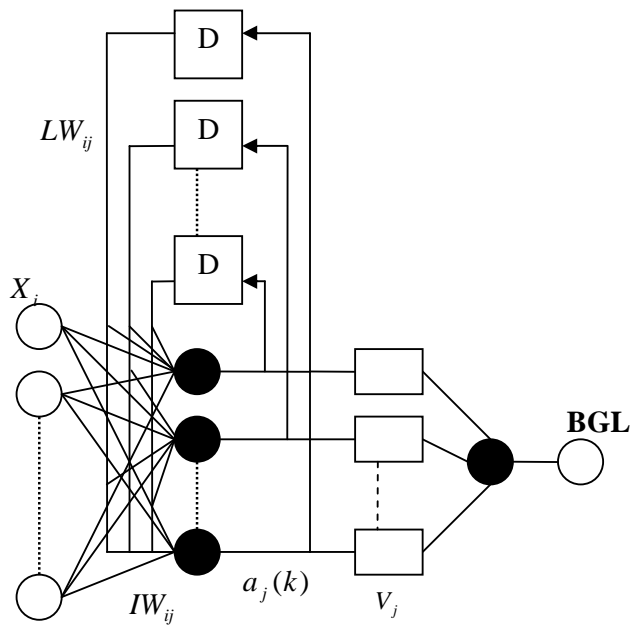
۲-۵- شبکه‌های عصبی خود بازگشتی

شبکه‌های عصبی خود بازگشتی که معروف‌ترین نوع آنها شبکه‌های عصبی ال‌من (Elman) می‌باشند، بیشتر به منظور مدل کردن پدیده‌هایی به کار می‌روند که وقوع آنها به میزان زیادی وابسته به شرایطی است که در گذشته اتفاق افتاده‌اند. این شبکه‌ها با بهره‌گیری از خاصیت دینامیکی خود توانسته‌اند توصیفی مطلوب بین پیچیدگی و قابلیت ارائه دهند.

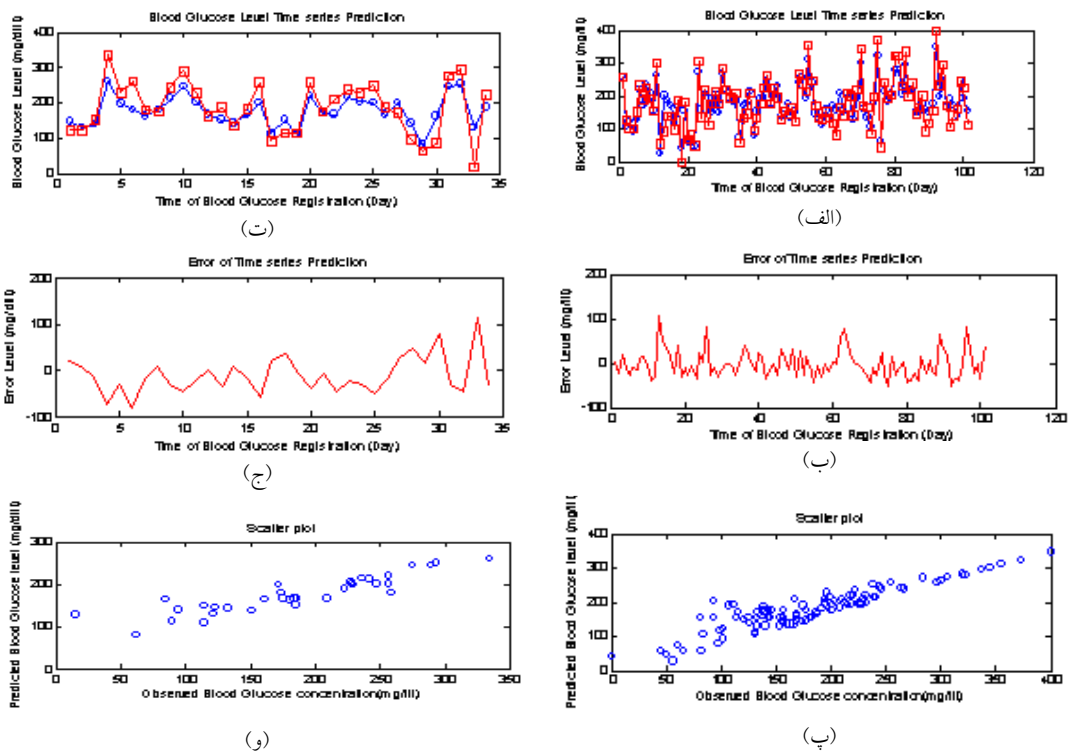
این شبکه‌ها شامل یک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه می‌باشند که در آن خروجی لایه مخفی دوباره توسط حلقه‌های فیدبک به ورودی لایه مخفی شبکه اعمال می‌شود تا از این طریق مقدار خروجی در هر لحظه به مقادیر تأثیرگذار قبلی وابسته گردد. شبکه عصبی خودبازگشتی ال‌من مورد استفاده در این مقاله از نظر تعداد نورون‌ها، تعداد لایه‌ها و نوع توابع تحریک مورد استفاده در هر لایه و روش آموزش

جدول ۴ شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با تعداد تکرارها ثابت و برابر ۱۰۰

تعداد نورونها	RMSE		MAE	
	آموزش شبکه	آزمایش شبکه	آموزش شبکه	آزمایش شبکه
۵	۱۹.۶۲۸۸	۲۸.۵۴۲۳	۷.۲۱۰۰	۶.۵۱۸۴
۱۰	۲۴.۱۰۵۱	۲۹.۰۷۸۱	۲.۸۵۴۱	۹.۴۷۲۰
۲۰	۲۳.۷۸۲۳	۱۰۵.۴۹۳۰	۰.۰۰۷۰۳	۳۶.۷۰۳۱



شکل ۳ شبکه عصبی خود بازگشتی المن المن



شکل ۴ (الف) شامل نمودار سری زمانی مربوط به داده‌های واقعی مرحله آموزش شبکه عصبی المن با علامت دایره و مقادیر پیش‌بینی شده با علامت مربع می‌باشد که نمودار خطای پیش‌بینی (ب) و تابع پراکندگی (پ) مرحله آموزش نیز به ترتیب در زیر آن مشخص گردیده است. (ت) شامل نمودار سری زمانی مربوط به داده‌های واقعی مرحله آزمایش شبکه عصبی المن با علامت دایره و مقادیر پیش‌بینی شده با علامت مربع می‌باشد که نمودار خطای پیش‌بینی (ج) و تابع پراکندگی (د) مرحله آزمایش نیز به ترتیب در زیر آن مشخص گردیده است.

جدول ۵ شبکه عصبی خودبازگشتی المن با تعداد نورون‌های لایه مخفی ثابت و برابر ۵

تعداد تکرارها	RMSE		MAE	
	آموزش شبکه	آزمایش شبکه	آموزش شبکه	آزمایش شبکه
۳۰۰	۱۱.۹۶۲۸	۲۳.۸۱۷۶	۷.۲۱۰۰	۶.۴۳۰۶
۱۰۰	۱۷.۳۹۶۷	۲۰.۶۰۹۲	۸.۷۲۲۱	۱۱.۲۰۹۲
۵۰	۴۷.۸۸۲۷	۵۳.۱۶۱۷	۱.۲۹۱۸	۰.۷۸۲۸

جدول ۶ شبکه عصبی خودبازگشتی المن با عداد تکرارها ثابت و برابر ۱۰۰

تعداد نوروها	RMSE		MAE	
	آموزش شبکه	آزمایش شبکه	آموزش شبکه	آزمایش شبکه
۵	۱۹.۰۵۱۳	۲۰.۶۱۳۷	۰.۳۴۷۹	۵.۱۱۲۴
۱۰	۲۳.۰۵۴۹	۲۵.۲۵۴۵	۴.۶۸۲۷	۶.۷۶۴۷
۲۰	۴۷.۲۳۷۶	۵۲.۶۸۳۴	۰.۰۳۷۹	۰.۲۴۹۲

جدول ۸: تعداد تکرارها ثابت و برابر ۱۰۰ است (برای ۵ نورون)

۳- مقایسه نتایج

با خلاصه کردن جداول (۳)، (۴)، (۵) و (۶) در دو جدول ۷ و ۸ (با استخراج بهترین نتایج از هر یک از جداول قبلی) و در نهایت مقایسه این دو جدول با هم می‌توان به این نتیجه دست یافت که اصولاً شبکه‌های عصبی خودبازگشتی المن می‌توانند از عملکرد بسیار مطلوبتری نسبت به شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه در فرآیند پیش‌بینی نوسانات سطح غلظت قند خون برخوردار باشند که این نتیجه نیز کاملاً منطبق بر عملکرد واقعی مکانیزم سیستم تنظیم قند خون در بدن می‌باشد چرا که در سیستم متابولیزم گلوکز در بدن وضعیت در هر لحظه به شدت وابسته به پارامترهایی نظیر میزان انسولین تزریقی، فعالیت بدنی، غذای مصرفی و... می‌باشد که در گذشته به وقوع پیوسته‌اند و این ویژگی نیز به دلیل وجود تأخیرهای ذکر شده در شبکه‌های عصبی خودبازگشتی به میزان بسیار مطلوبی محقق می‌گردد.

جدول ۷ تعداد نورون‌های لایه مخفی ثابت و برابر ۵ است

(برای ۳۰۰ تکرار)

شبکه عصبی	قسمت RMSE آزمایش شبکه عصبی	قسمت MAE آزمایش شبکه عصبی
MLP	۲۸.۵۴۲۳	۶.۵۱۸۴
المن	۲۳.۸۱۷۶	۶.۴۳۰۶

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

از جمله مشکلات حائز اهمیت بیماران دیابتی به ویژه در نوع ۱ آن، نوسانات بسیار زیاد و ناگهانی سطح غلظت قند خون می‌باشد که این خود باعث بروز عارضه‌های بسیار خطرناکی چون اغما و بیهوشی خواهد گردید؛ به همین منظور طراحی و استفاده از روش‌هایی در جهت کنترل مناسب سطح غلظت قند خون و به نوعی پیشگیری از وقوع این عوارض، بسیار ضروری می‌باشد.

در این تحقیق کوشش شد تا اولاً از ویژگی‌های دینامیکی شبکه عصبی خود بازگشتی استفاده شده و مدلی با استفاده از این شبکه به منظور مدلسازی و پیش‌بینی رفتار دینامیکی نوسانات سطح قند خون ارائه شود و ثانیاً به منظور نشان دادن تطبیق پذیری بهتر شبکه عصبی خود بازگشتی المن نسبت به شبکه عصبی پرسپترون چندلایه در فرآیند پیش‌بینی سطح

به مدل‌های ریاضی و دیفرانسیلی [۵] و نیز مدل‌های تکه‌ای (compartmental) و [۶ و ۷] می‌توان به مواردی همچون افزایش قابل ملاحظه تعداد پارامترهای مؤثر بر نوسانات سطح قند خون و نیز مدت زمان بیشتر پیش‌بینی سطح قند خون اشاره نمود. اما نکته‌ای که باید به آن اشاره شود این است که با توجه به اینکه هنوز میزان صحت تا رسیدن به حد ایده‌آل آن فاصله دارد لذا به نظر می‌رسد که می‌توان از طریق شناخت و استخراج تعداد ویژگی‌های پزشکی بیشتر و جدیدتر تأثیرگذار بر روند نوسانات غلظت قند خون و نیز، کاهش فاصله‌های زمانی بین اندازه‌گیری‌های سطح غلظت قند خون، میزان صحت را تا حد زیادی بهبود بخشید ضمن اینکه بهینه ساختن ساختار شبکه‌های عصبی با استفاده از روش‌های هوشمند دیگر نظیر الگوریتم‌های ژنتیک و الگوریتم‌های فازی نیز به عنوان راه‌کارهای مطلوب دیگری برای رسیدن به این مهم پیشنهاد می‌گردد.

در انتها باید گفت که از جمله کاربردهای این تحقیق می‌توان به استفاده از الگوریتم طراحی شده در تلفن‌های همراه، ساعت‌های مچی، پرتال‌های پزشکی و نیز پمپ‌های تزریق انسولین و حتی ساخت پانکراس مصنوعی به منظور کمک به بیماران دیابتی اشاره نمود.

قند خون، مقایسه‌هایی نیز میان این دو نوع شبکه عصبی صورت گیرد.

در پایان تحقیق مشخص شد که شبکه‌های عصبی خود بازگشتی از نظر میزان صحت در کل فرآیند پیش‌بینی نوسانات سطح غلظت قند خون دقیقتر از شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه عمل می‌نمایند. همچنین، مقایسه نتایج به دست آمده از شبکه عصبی خودبازگشتی مورد استفاده در این تحقیق با نتایج به دست آمده از تحقیقات مشابه قبلی نظیر شبکه‌های عصبی پیش‌بین [۸]، [۱۲]، [۱۵] نشان دهنده کاهش محسوس تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌های بکار رفته و نیز بهبود میزان کارایی در این تحقیق می‌باشد که این خود باعث کاهش هزینه طراحی و نیز، کاهش زمان پاسخ شبکه به ورودی می‌باشد. البته به نظر می‌رسد که بهره‌گیری از خاصیت خودبازگشتی و دینامیکی شبکه عصبی ال‌من که تطبیق‌پذیری بیشتری با ماهیت دینامیکی نوسانات سطح قند خون دارد، نقش مهمی را در میزان خطا و تعداد لایه‌ها و نرون‌های مورد استفاده در این تحقیق نسبت به سایر تحقیقات مشابه از خود ایفا می‌کند. هرچند که تعداد بیشتر داده‌های مورد استفاده در تحقیقات مشابه قبلی نسبت به این تحقیق از جمله نکات مثبت آن تحقیقات محسوب می‌شود. از دیگر مزیت‌های مهم شبکه‌های عصبی مورد استفاده در این تحقیق نسبت

مراجع

1. B. Larijani, F. Zahedi, S. Aghakhani, "Epidemiology of Diabetes Mellitus in Iran", Shiraz E-Medical Journal, Vol. 4, No. 4, (2003).
2. M.H. Kroll, "Biological variation of glucose and insulin includes a deterministic chaotic component", BioSystems 189-201, (1999).
3. A. De Gaetano, O. Arino, "Mathematical modelling of the intravenous glucose tolerance test", J. Math. Biol. 40, 136-168, (2000).

4. R.N. Bergman, " Pathogenesis and prediction of diabetes mellitus: Lessons from integrative physiology, in: Irving L. Schwartz Lecture, Mount Sinai J. Medicine 60 , 280–290, (2002).
5. D.L. Bennett, S.A. Gourley, "Asymptotic properties of a delay differential equation model for the interaction of glucose with plasma and interstitial insulin ", Appl. Math. Comput. 151, pp. 189–207, (2004)
6. J. Li, Y. Kuang, C. Mason, " Modelling the glucose-insulin regulatory system and ultradian insulin secretory oscillations with two time delays", submitted for publication.
7. M.S. Leaning and M.A. Boroujerdi, "A system for compartmental modelling and simulation", Comput. methods programs biomed., Vol.35, (1991).
8. Tresp V., Moody J., and DeLong W.-R., "Neural modelling of physiological processes", Computational Learning Theory and Natural Learning Systems, Vol. 2, S. Hanson et al., eds., MIT Press, (1994).
9. A. Drozdov, H. Khanina, "A model for ultradian oscillations of insulin and glucose", Math. Comput. Modelling Vol. 22, pp. 23–38, (1995)
10. E. Salzsieder, G. Albrecht, U. Fischer, A. Rutscher and U. Thierbach, "Computer-aided systems in the management of type I diabetes: the application of a model-based strategy", Comput. Methods programs biomed., Vol. 32, (1990).
11. O.K. Hejlesen, S. Andreassen, R. Hovorka and D.A. Cavan, " Dias-the diabetic advisory system: an outline of the system and the evaluation results obtained so far", Computer methods and programs in biomedicine, Vol. 54, (1997).
12. K. Prank, C.J. Äurgens, A. MÄuhlen and G. Brabant, "Predictive Neural Networks for Learning the Time Course of Blood Glucose Levels from the Complex Interaction of Counter regulatory Hormones", Neural Computation Vol. 10, pp. 941-953, (1998).
13. G. Gogou, N. Maglaveras, B.V. Ambrosiadou, D. Goulis and C. Pappasl, "A Neural Network Approach in Diabetes Management by Insulin Administration", Journal of Medical Systems, Vol. 25, No. 2, (2001).
14. T. Katayama, T. Sato, K. Minato, "A blood glucose prediction system by chaos approach", Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS San Francisco, CA, USA September 1-5, (2004).
15. R.A. Zitar ,A. Al-Jabali, "Towards Neural Network Model for Insulin/Glucose in Diabetics-II", Informatica 29, 227–232, (2005).