

تشخیص آنامولی‌های TEC قبل از وقوع زلزله‌های بزرگ با تلفیق شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات (PSO)

منیره شمشیری^۱

مهدی آخوندزاده هنزائی^۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۴/۴

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۱/۱۴

چکیده

بحث پیش‌بینی زمین‌لرزه به‌منظور کاهش تلفات و آسیب‌های آن از اهمیت بالایی برخوردار است؛ به ویژه در منطقه لرزه‌خیزی مانند ایران که سالانه شاهد وقوع این پدیده طبیعی می‌باشد. تشخیص ناهنجاری‌های قبل از زلزله نقش بسزایی در این امر دارد. تغییرات یونسفری که با اندازه‌گیری‌های از راه دور (مانند استفاده از سیستم تعیین موقعیت جهانی) قابل شناسایی هستند به پیش‌نشانگرهای یونسفری زلزله معروف می‌باشند. در این مطالعه دو مجموعه داده از محتوای الکترون‌های یونسفر که حاصل از پردازش داده‌های GPS با نرم افزار Bernese است برای دو مورد مطالعاتی زلزله اهر آذربایجان شرقی (۲۱ مرداد ۱۳۹۱) و زلزله کاکلی بوشهر (۲۰ فروردین ۱۳۹۲) مورد استفاده قرار گرفته و نتایج آن با داده‌های ایستگاه جهانی مقایسه گردیده است. از آنجا که تغییرات TEC³ رفتاری غیرخطی دارد بدین منظور برای پیش‌بینی و تشخیص تغییرات آن از تلفیق شبکه عصبی (با به کارگیری پرسپترون چندلایه (MLP))^۴ و الگوریتم PSO^۵ استفاده گردیده است. الگوریتم PSO با عملکردی مبتنی بر جمعیت می‌تواند در بهبود وزن برآورد شده توسط شبکه عصبی مؤثر واقع شود. با تجزیه و تحلیل علل ناهنجاری‌های یونسفر از جمله میدان‌های ژئومغناطیسی و فعالیت‌های خورشیدی و حذف آن‌ها از پردازش‌های مورد نظر، نتایج حاصل نشان می‌دهد که برخی از این ناهنجاری‌ها ناشی از وقوع زلزله است و به کارگیری الگوریتم‌های هوشمند توانسته است کارایی مناسبی در جهت پیش‌بینی سری‌های زمانی غیر خطی داشته باشد. خروجی حاصل از تلفیق شبکه عصبی و PSO نشان می‌دهد که هر دو ناهنجاری‌های مثبت و منفی رخ می‌دهند. ناهنجاری‌های قبل از زلزله غالباً نزدیک به کانون زلزله رخ می‌دهند و در ۳ روز قبل از زلزله اهر آذربایجان شرقی و ۲ تا ۶ روز قبل از زلزله کاکلی بوشهر قابل رؤیت می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: زلزله، الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات، آنومالی، TEC، شبکه عصبی مصنوعی.

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور دانشگاه تهران m.shamshiri@ut.ac.ir

۲ استادیار گروه سنجش از دور، دانشگاه تهران makhonz@ut.ac.ir

3- Total Electron Content

4-Multi Layer Perceptron

5- Particle Swarm Optimization

۱- مقدمه

پیش‌بینی رخداد‌های طبیعی از جمله زلزله نقش بسزایی در جلوگیری از آسیب‌ها و تلفات آن خواهد داشت. سیستم GPS با ارسال سیگنال از ماهواره به گیرنده اطلاعاتی از نحوه تأثیر یونسفر بر مشاهدات فاز و کد ارائه می‌دهد و از این طریق می‌توان به مدل‌سازی یونسفر و میزان کل الکترون آن دست یافت. در مقاله حاضر، سعی بر این است که با پردازش داده‌های ایستگاه دائمی GPS به وسیله نرم‌افزار Bernese تغییرات میزان الکترون‌های یونسفر (TEC) بررسی شود و از آن به عنوان پیش‌نشانگر زلزله استفاده گردد (Liu et al, 2004). نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های ماهواره GPS گستردگی قابل توجهی برای درک تغییرات یونسفر ناشی از زمین لرزه دارد. به‌منظور بررسی این تغییرات و پیش‌بینی آن نیاز به روشی هوشمند برای بازشناسی روند تغییرات TEC می‌باشد. شبکه عصبی مصنوعی ابزاری کارآمد است که با مجهولات کم می‌تواند ساختاری را ایجاد کند که به حل مسائل پیچیده بپردازد. کارایی شبکه عصبی در بازشناسی الگوی سری‌های زمانی و پیش‌بینی، آن را در زمره روش‌های کارا برای سیستم‌های پیچیده غیر خطی قرار داده است. (Akhoondzadeh, 2013) عملکرد شبکه عصبی برپایه تعیین وزن مناسب برای ورودی‌های شبکه می‌باشد و انتخاب هرچه بهتر این وزن‌ها، خروجی شبکه را به مقدار واقعی نزدیک‌تر خواهد کرد (کاوایی، بوموسوی کانی، جهانبانی اردکانی، ۱۳۸۶). الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات (PSO) با سرعت همگرایی بالا و توانایی برطرف کردن مینیمم‌های محلی که یکی از معایب شبکه عصبی می‌باشد قادر است وزن برآورد شده توسط شبکه عصبی را بهبود بخشد (Chen, Li, 2006). با پیاده‌سازی الگوریتم مورد نظر و تحلیل نتایج، ناهنجاری‌هایی ۱ تا ۷ روز قبل از وقوع زلزله امر و زلزله کاکي به خوبی قابل رؤیت است.

۱-۱- داده‌های TEC

در این مطالعه داده‌های TEC از پردازش داده‌های GPS

با نرم افزار Bernese برای ایستگاه‌های امر (AHAR) و شیراز (SHRZ) بدست آمد. در پردازش مورد نظر مقادیر TEC با فاصله زمانی ۱ ساعته و ابعاد گرید مکانی ۰/۵ درجه محاسبه گردید. همچنین از داده‌های ایستگاه‌های جهانی IGS برای مقایسه نتایج حاصل از پردازش Bernese نیز استفاده شد که توان تفکیک مکانی آن ۵ درجه طول جغرافیایی و ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی در فواصل زمانی ۲ ساعته می‌باشد.

۱-۲- داده‌های ژئومغناطیسی

پارامترهای یونسفری تحت تأثیر فعالیت‌های خورشیدی می‌باشند. شاخص‌های ژئومغناطیسی از جمله KP, DST و F10.7 معیاری برای بیان میزان فعالیت‌های خورشیدی می‌باشند (Akhoondzadeh, 2009). دانشمندان برای اندازه‌گیری قدرت یک طوفان ژئومغناطیسی، پارامتری به نام شاخص KP را اندازه می‌گیرند که نشانگر آهنگ تغییرات میدان‌های مغناطیسی نزدیک زمین است. این شاخص اختلال کمی در مؤلفه افقی میدان مغناطیسی زمین را نشان می‌دهد که از مشاهدات مگنتومتر با فاصله زمانی سه ساعته حاصل می‌شود. شاخص DST¹ اطلاعاتی در مورد قدرت جریانات حلقوی در اطراف زمین که ناشی از پروتون و الکترون‌های خورشیدی است ارائه می‌دهد. شاخص F10.7 شار رادیویی خورشید را در طول موج 10.7cm و در واحد فرکانس اندازه‌گیری می‌کند (Mayaud, 1980).

$$\left(1SFU = 10^{-22} \frac{W}{m^2 Hz} \right)$$

شاخص‌های ژئومغناطیسی اشاره شده از طریق

سایت‌های زیر قابل دسترسی می‌باشند:

<http://spidr.ngdc.noaa.gov>

<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac>

چنانچه بخواهیم اشاره‌ای به تحقیقات مشابه داشته

باشیم، پیشینه تحقیق به شرح ذیل می‌باشد:

Otsuka و همکارانش (۲۰۰۰) با استفاده از گیرنده‌های

دوفرکانسه GPS به محاسبه TEC پرداختند. در این تحقیق

¹- Disturbance Storm Time

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)
تشخیص آنامولی های TEC قبل از وقوع زلزله ... / ۷

ماهواره ها، تعیین مدل تروپوسفر و یونسفر بصورت محلی و جهانی و تعیین المان های مداری و برآورد پارامترهای دوران زمین اشاره نمود. نرم افزار Bernese به حل مجهولات زیادی می پردازد که از جمله آن ها که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است پارامترهای یونسفری و مقدار الکترون های لایه یونسفر می باشد. از مدل های جهانی می توان به مدل های CODE، ESAG، JPL و EMRG اشاره کرد. برای مثال در مدل CODE نقشه یونسفر جهانی به صورت روزانه توسط مرکز تعیین مدار در اروپا (CODE)، دانشگاه برن سوئیس تولید می شود. TEC با گسترش هارمونیک کروی تا درجه ۱۲ و مرتبه ۸ با اشاره به یک چارچوب مرجع خورشیدی وابسته به جاذبه زمین مدل شده است. مجموعه ای از ۱۴۹ پارامتر یونسفری به صورت روزانه از داده های GPS شبکه جهانی IGS (سرویس بین المللی GPS) استخراج می شوند (www.Science.nrao.edu).

نرم افزار Bernese از سه مدل یونسفری استفاده می کند:

۱. مدل محلی (Local TEC Model): براساس بسط دو بعدی هارمونیک های کروی

۲. مدل جهانی (Global TEC Model): براساس بسط هارمونیک های کروی

۳. مدل ایستگاهی (Station-Specific TEC Model)

مدل محلی TEC: قابل اجرا در اطراف و مجاورت یک یا چند ایستگاه دو فرکانسه می باشد و بر اساس رابطه (۱) بیان می گردد:

$$E(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^{m_{\max}} E_{nm} (\beta - \beta_0)^n (s - s_0) \quad (1)$$

$E(\beta, s)$: تابعی جهت برآورد TEC در زاویه زینتی صفر درجه که تابعی از موقعیت گیرنده نسبت به ماهواره و خورشید است.

β : عرض جغرافیایی نقطه تقاطع لایه یونسفر با امتداد گیرنده - ماهواره

s : طول جغرافیایی نقطه تقاطع لایه یونسفر با امتداد گیرنده

TEC دو بعدی در منطقه ژاپن با استفاده از بیش از ۱۰۰۰ گیرنده GPS بدست آمد. در سال ۲۰۰۲ Williams Vilas Boas و همکارانش مجموع الکترون های یونسفر را در عرض های پایین جغرافیایی در برزیل برای فعالیت کم خورشیدی و با استفاده از داده های GPS مورد مطالعه قرار دادند. Saraso و همکارانش (۲۰۰۷) با استفاده از داده های GPS به بررسی برخی از زلزله هایی که در سال های ۲۰۰۲-۱۹۹۳ رخ داده بودند پرداختند و نتایج نشان داد که ناهنجاری هایی ۲ تا ۷ روز قبل از زلزله قابل رؤیت بوده اند و برای زلزله های قدرتمند این ناهنجاری ها تا ۱۶۰۰ کیلومتر از مرکز زلزله گسترش داشته اند. آخوندزاده و سراجیان (۲۰۱۰) با مطالعه بر روی دو زلزله Haiti و Samoa با استفاده از روش های فیلتر کالمن و Wavelet توانستند آنامولی هایی را ۱ تا ۱۵ روز قبل از وقوع زلزله تشخیص دهند. همچنین در مطالعات دیگری که در این حیطه صورت گرفت آخوندزاده در سال ۲۰۱۲ با استفاده از شبکه عصبی و ماشین های بردار پشتیبان و در سال ۲۰۱۳ با به کارگیری الگوریتم ژنتیک به بررسی ناهنجاری های پیش لرزه ای پرداخت.

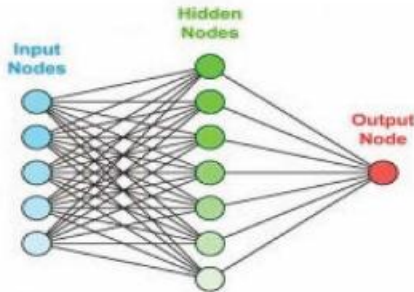
۲- روش تحقیق

در این بخش نحوه محاسبه TEC توسط نرم افزار Bernese و به کارگیری شبکه عصبی مصنوعی در تشخیص آنامولی های TEC قبل از وقوع زمین لرزه و بهبود وزن آن با الگوریتم PSO مورد بررسی قرار می گیرد.

۱-۲ پردازش داده های GPS

به منظور بدست آوردن میزان الکترون های یونسفر در مکان و زمان مشخص، نیاز به پردازش داده های GPS می باشد. در این راستا در مطالعه حاضر، از نرم افزار Bernese استفاده شده است. از کاربردهای این نرم افزار می توان به پردازش شبکه های دائمی GPS به منظور تعیین سرعت حرکت ایستگاه ها و صفحات تکتونیکی، حل ابهام فاز تا طول های ۲۰۰۰ کیلومتری با استفاده از مختصات دقیق

نگاره (۱) ساختار یک پرسپترون چندلایه را نشان می‌دهد.



نگاره ۱ پرسپترون چند لایه

خطای سیستم ترکیبی از پاسخ‌های مطلوب و پاسخ واقعی سیستم است که خروجی واقعی نامیده می‌شود. اطلاعات خطا که به صورت فیدبک به سیستم برمی‌گردد؛ در یک حالت سیستماتیک بر همه پارامترهای سیستم منطبق می‌شود. این فرآیند آنقدر تکرار می‌شود تا خروجی به صورت قابل قبول درآید.

الگوریتم ورودی داده‌ها در شبکه عصبی مصنوعی طبق روابط (۳) است:

$$\begin{aligned} x_4 &= f(x_1, x_2, x_3) \\ x_5 &= f(x_2, x_3, x_4) \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \end{aligned} \quad (3)$$

بعد از مرحله آموزش مقداری از داده‌ها برای اعتبارسنجی استفاده می‌گردد و در انتها مرحله تست داده‌ها صورت می‌گیرد.

در هر مرحله با استفاده از داده‌های آموزشی الگوریتم اجرا می‌شود، وزن اولیه بهینه می‌گردد تا خروجی هر مرحله از تکرار به هدف نزدیک‌تر شود.

در انتها خطای پیش‌بینی شده با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌گردد:

$$PE = \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i) \quad (4)$$

- ماهواره به مرجعیت خورشید

m_{max} و n_{max} : بزرگترین درجه بسط سری تیلور دو بعدی در عرض β و طول s

E_{nm} : ضریب TEC سری تیلور یا به عبارت دیگر مجهول مدل محلی یونسفر

s_0 و β_0 : مختصات نقطه مبدا

مدل جهانی TEC: که ممکن است برای برنامه‌های کاربردی منطبقه ای نیز استفاده شود و با رابطه (۲) بیان می‌گردد:

$$E_V(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{max}} \sum_{m=0}^n \tilde{P}_{nm}(\sin\beta) (a_{nm} \cos(ms) + b_{nm} \sin(ms)) \quad (2)$$

n_{max} : حداکثر درجه بسط هارمونیک کروی

$\tilde{P}_{nm} = N_{nm} P_{nm}$: توابع لژاندر نرمالایز شده از درجه n و مرتبه m

$$N_{nm} = \sqrt{\frac{(n-m)!(2n+1)}{(n+m)!}}$$

P_{nm} : تابع لژاندر نرمالایز نشده

a_{nm} و b_{nm} : ضرایب هارمونیک کروی که مجهول

هستند و بایستی برآورد شوند (صادقی، ۱۳۸۵: ۶)

مدل ایستگاهی: در این مدل مجموعه‌ای از پارامترهای یونسفری با توجه به هر ایستگاه تعیین می‌گردد.

۲-۲- شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

شبکه‌های عصبی مصنوعی با پردازش روی داده‌های ورودی قانون نهفته در ورای داده‌ها را به ساختار شبکه منتقل می‌کند. این شبکه‌ها برای تخمین^۱ و تقریب^۲ کارایی بسیار بالایی از خود نشان داده‌اند. اصولاً توانایی یادگیری مهمترین ویژگی یک سیستم هوشمند است. زمانی که یک عنصر از شبکه عصبی از کار بیفتد به دلیل خاصیت کارکرد موازی اجزا، شبکه می‌تواند کمبود را جبران کرده و بدون مشکل به کار خود ادامه دهد (Veulenturf, 1995).

1- Artificial Neural Network

2- Estimation

3- Approximation

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)
تشخیص آنامولی های TEC قبل از وقوع زلزله ... / ۹

الگوریتم PSO این است که مجموع مربع خطاها (تفاضل مقدار واقعی و خروجی شبکه عصبی) کمینه گردد:

$$Cost\ function = \sum_{i=1}^N (e_i)^2 \rightarrow min$$

۲-۴- تشخیص ناهنجاری با استفاده از روش میان چارکی و میانه

از آنجا که نوسانات یونسفری معمولاً دارای توزیع نرمالی نمی باشند و از منحنی گاووسی پیروی نمی کنند، به منظور تشخیص ناهنجاری های لرزه ای، از میانه و دامنه بین چارکی برای تعیین مرزهای بالا و پایین استفاده می گردد: (Liu et al,2004; Pulnits and Boyarchuk,2004)

$$x_{low} = M - k * IQR$$

$$x_{high} = M + k * IQR$$

$$x_{low} < x < x_{high} \rightarrow -k < \frac{x - M}{IQR} < k$$

$$D_x = \frac{x - M}{IQR} \quad (6)$$

که x_{low} ، x_{high} ، M ، IQR و D_x به ترتیب مرز بالایی، مرز پایینی، میانه، دامنه بین چارکی و دیفرانسیل x می باشند. k مقداری تجربی است و طبق روابط بالا چنانچه $k > |D_x|$ ، در این صورت رفتار پارامتر x به عنوان ناهنجاری در نظر گرفته می شود.

۳- پیاده سازی و تحلیل نتایج

در این مقاله دو زمین لرزه مورد بررسی قرار گرفت است. زلزله اول در استان آذربایجان شرقی با بزرگای گشتاوری ۷/۴ در ساعت ۱۷:۵۳:۱۶ به وقت محلی (UTC=12:23:17) در روز ۲۱ مرداد ۱۳۹۱ در ۲۰ کیلومتری اهر رخ داد. کانون زمین لرزه در عمق حدود ده کیلومتری زمین بوده است.

زمین لرزه دوم زلزله در استان بوشهر با بزرگای گشتاوری ۷/۴ (Mw) در ساعت ۱۶:۲۲:۵۰ به وقت محلی (UTC=11:52:50) در روز ۲۰ فروردین ۱۳۹۲، در

که در آن مقدار واقعی و مقدار خروجی شبکه عصبی می باشد. در واقع در تفاضل مقدار واقعی و مقدار پیش بینی شده اگر مقادیر خطا از حد آستانه تجاوز نماید بیانگر ناهنجاری ناشی از زلزله خواهد بود.

۲-۳- الگوریتم بهینه سازی توده ذرات (PSO)

الگوریتم بهینه سازی توده ذرات یک تکنیک تکاملی (Evolutionary) برای انجام محاسبات است. این الگوریتم با مجموعه ای از پاسخ های بالقوه (ذرات) کارش را آغاز می کند و با بروز کردن وضعیت ذرات به دنبال پیدا کردن نقطه بهینه می باشد. هر ذره دارای حافظه است و بهترین موقعیت خودش که تا کنون بدست آورده (Pb) و بهترین موقعیت همسایگانش (Pg) را در هر تکرار در حافظه اش نگه می دارد. در هر تکرار، هر ذره بر اساس بهترین موقعیتش (Pb) و بهترین موقعیت همسایگانش (Pg)، بردار سرعتش را تنظیم می کند (کاربانی، ۱۳۸۶):

$$V_{id}(t+1) = V_{id}(t) + c_1 \times r_1 \times [P_{id}(t) - X_{id}(t)] + c_2 \times r_2 \times [P_{gd}(t) - X_{id}(t)] \quad (5)$$

$$X_{id}(t+1) = X_{id}(t) + V_{id}(t+1)$$

که c_1 و c_2 ثابت های شتاب دهنده با مقادیر مثبت و r_1 و r_2 عددی تصادفی بین ۰ و ۱ می باشند. استفاده از پارامتر وزن اینرسی باعث می شود که این الگوریتم برخلاف الگوریتم شبکه عصبی توانایی جستجوی سراسری و محلی در میان فضای داده ها را برای رهایی از به دام افتادن در مینیمم های محلی داشته باشد. مقادیر بزرگ وزن اینرسی در آغاز جستجو به توانایی اکتشاف سراسری و در ادامه اجرای الگوریتم، کاهش آن به جستجو در فضاهای محلی با دقت بیشتر کمک می کند. همین قابلیت باعث می شود وزن های مورد نیاز در شبکه عصبی بصورت بهینه ی سراسری با احتمال بسیار بالا برآورد شود و خروجی شبکه عصبی در پیش بینی داده ها به مقدار مشاهداتی نزدیک تر شود و به تبع میزان خطای آن کاهش یابد. در واقع هدف از به کارگیری

در ۲۶ روز قبل از روز زلزله به بیشترین مقدار رسیده است. نگاره ۲ (ج) تغییرات شاخص DST را در بازه زمانی مورد نظر نشان می‌دهد. بیشترین فعالیت غیرعادی این شاخص ۲۵ تا ۲۷ و ۳۲ تا ۳۳ روز قبل از وقوع زلزله بوده و بیان کننده این است که تغییرات TEC در روزهای نزدیک به زلزله مربوط به فعالیت این شاخص نبوده است. نگاره ۲ (د) تغییرات TEC را که از پردازش داده‌های ایستگاه GPS اهر (نزدیک به مرکز زلزله) بدست آمده نشان می‌دهد. بررسی نگاره (بدون انجام تجزیه و تحلیل) تغییرات غیر عادی TEC را در چند روز قبل از وقوع زلزله نشان می‌دهد.

به منظور پیاده‌سازی شبکه عصبی و الگوریتم PSO، ۴۰٪ از داده‌ها برای آموزش و ۶۰٪ برای آزمایش کردن اختصاص داده شده است. نگاره ۳ نتایج حاصل از تلفیق شبکه عصبی و PSO می‌باشد. در نگاره ۳ (الف) برای ۳۵ روز از داده‌های مورد نظر، مقدار پیش‌بینی شده حاصل از شبکه عصبی با مقادیر مشاهداتی متناظر آن از هم کم شده‌اند تا میزان انحراف کمیت پیش‌بینی شده از مقدار واقعی آن بدست آید. مقدار خطا به ازای هر یک ساعت بصورت

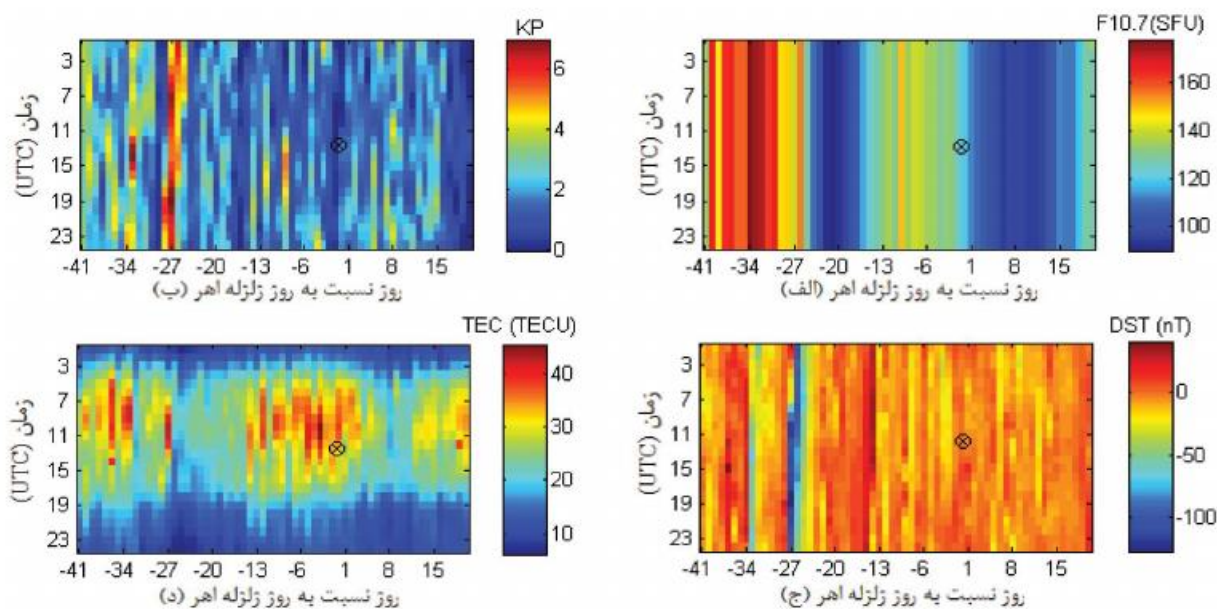
عمق ۱۰ کیلومتری زیر زمین در شهرستان دشتی رخ داد. کانون این زمین‌لرزه در ۱۶ کیلومتری شهر کاکلی بوده است. اطلاعات زمین‌لرزه‌ها از سایت <http://earthquake.usgs.gov> استخراج گردیده است.

۳-۱- زلزله اهر آذربایجان شرقی

۳-۱-۱- بررسی داده‌های ایستگاه‌های زمینی

نگاره ۲ (الف) نحوه فعالیت شاخص شار رادیویی خورشیدی را در بازه زمانی ۱۰ تیر ماه تا ۹ شهریور ماه ۱۳۹۱ نشان می‌دهد. محور X نشان‌دهنده روز نسبت به روز زلزله و محور Y نشان‌دهنده زمان جهانی است. بیشترین فعالیت این شاخص مربوط به ۲۶ تا ۴۰ روز قبل از وقوع زلزله بوده است و همچنین ۱۰ روز قبل از وقوع زلزله فعالیت غیرعادی داشته است.

نگاره ۲ (ب) رفتار شاخص ژئومغناطیسی KP را در بازه زمانی دو ماهه از ۱۰ تیر ماه تا ۹ شهریور ماه ۱۳۹۱ نشان می‌دهد. بیشترین فعالیت این شاخص ژئومغناطیسی در بازه ۹ تا ۱۴ و ۲۵ تا ۴۰ روز قبل از وقوع زلزله روی داده است و



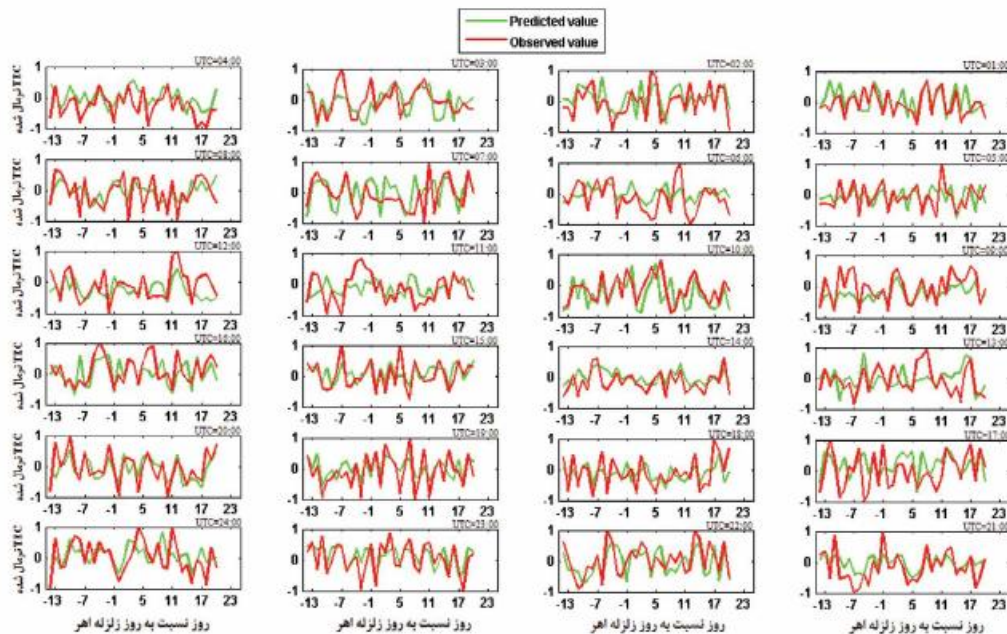
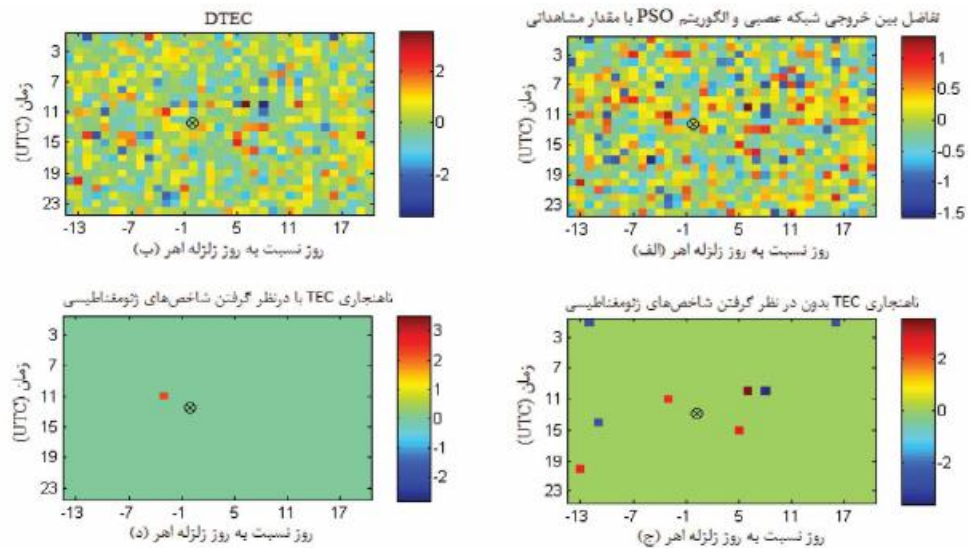
نگاره ۲ (الف) تغییرات شاخص ژئومغناطیسی F10.7، (ب) شاخص KP، (ج) شاخص DST و (د) تغییرات TEC در بازه زمانی دو ماهه

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)
 تشخیص آنامولی های TEC قبل از وقوع زلزله ... / ۱۱

را نشان می دهد. در نگاره ۳ (د) شاخص های ژئومغناطیسی AP, DST و F10.7 مانند یک فیلتر به خروجی قسمت (ج) اعمال می شود تا اثر فعالیت های ژئومغناطیسی از مقادیر TEC برداشته شود. در نهایت نگاره ۳ (د) پیش بینی ناهنجاری TEC را ۳ روز قبل از زلزله در ساعت ۱۱:۰۰ نشان می دهد. آنامولی قرمز رنگ نشان دهنده مثبت بودن آن است و به معنی افزایش در مقدار الکترون ها می باشد. شکل ۴ پیش بینی شبکه عصبی آموزش دیده با PSO

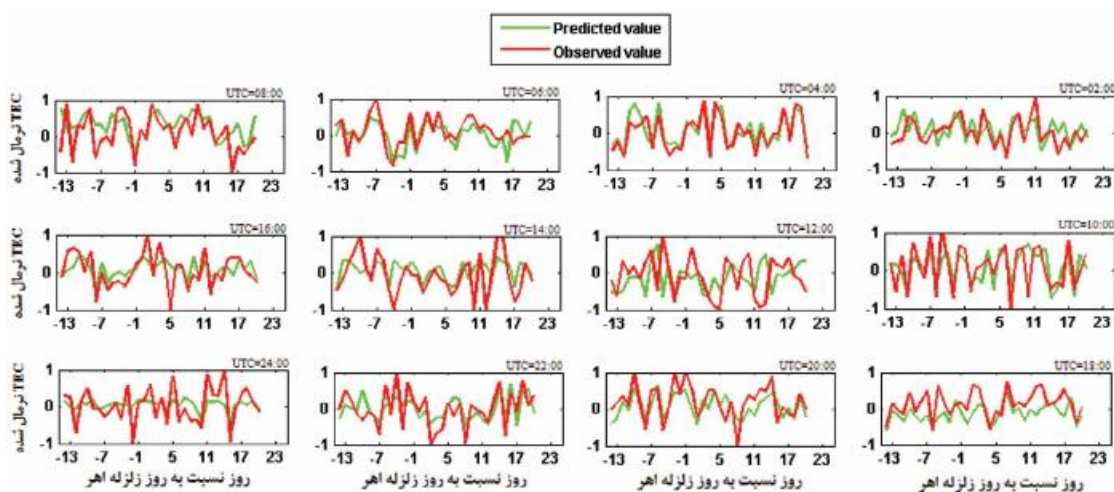
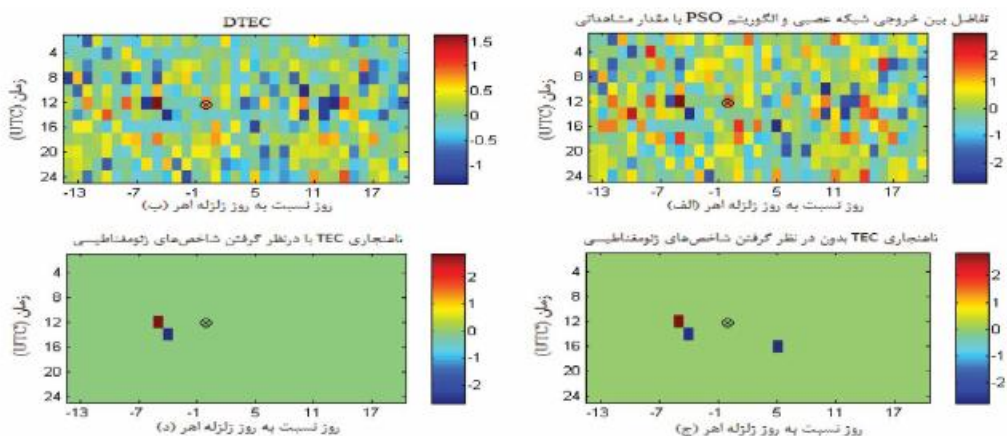
۲۴ ساعته برای داده ها محاسبه گردیده است. محور افقی نشان دهنده فاصله روزها از روز زلزله و محور عمودی نشان دهنده زمان است. نگاره ۳ (ب) مقدار \times تفاضلی داده ها را نشان می دهد. این مقدار با استفاده از روابط (۶) به منظور آشکارسازی ناهنجاری محاسبه می گردد. در نگاره ۳ (ج) با استفاده از روش میان چارکی و میانه، حد آستانه ای بر روی خروجی قسمت (ب) اعمال می شود و رفتار غیرعادی TEC بدون در نظر گرفتن شاخص های ژئومغناطیسی

نگاره ۳ تشخیص
 آنامولی TEC با استفاده
 از شبکه عصبی با در
 نظر گرفتن شاخص های
 ژئومغناطیسی



نگاره ۴ پیش بینی
 شبکه عصبی
 آموزش دیده با
 PSO و مقدار واقعی
 داده های TEC،
 ایستگاه اهر
 نمودار قرمز رنگ
 مقادیر واقعی TEC
 و نمودار سبز رنگ
 پیش بینی شبکه
 عصبی

نگاره ۵ تشخیص
 آنامولی TEC با
 استفاده از شبکه
 عصبی با در نظر
 گرفتن شاخص‌های
 ژئومغناطیسی



نگاره ۶ پیش‌بینی شبکه عصبی آموزش دیده با PSO و مقدار واقعی داده‌های TEC حاصل از ایستگاه‌های جهانی. نمودار قرمز رنگ مقادیر واقعی TEC و نمودار سبز رنگ پیش‌بینی شبکه عصبی

۳-۱-۲- بررسی داده‌های ایستگاه‌های جهانی
 نگاره ۵ نتایج حاصل از تلفیق شبکه عصبی و PSO برای داده‌های حاصل از ایستگاه‌های جهانی IGS می‌باشد. این داده‌ها برای فاصله زمانی ۲ ساعته ارائه می‌گردند. در نگاره ۵ (الف) برای ۳۵ روز از داده‌های مورد نظر، مقدار پیش‌بینی شده حاصل از شبکه عصبی با مقادیر مشاهداتی متناظر آن از هم کم شده‌اند تا میزان انحراف کمیت پیش‌بینی شده از مقدار واقعی آن بدست آید. مقدار خطا به ازای هر دو ساعت محاسبه گردیده است. محور افقی نشان دهنده فاصله روزها از روز زلزله و محور عمودی نشان دهنده زمان است. نگاره ۵ (ب) مقدار x تفاضلی داده‌ها را نشان می‌دهد. این مقدار و مقدار واقعی داده‌های TEC را برای بازه‌های زمانی یک ساعته و برای داده‌های قسمت آزمایش شبکه نشان می‌دهد. محور افقی نشان دهنده فاصله روزها از روز زلزله و محور عمودی میزان TEC نرمال شده (بین بازه [-1,1]) است. نمودار قرمز رنگ مقادیر واقعی TEC و نمودار سبز رنگ پیش‌بینی الگوریتم می‌باشد. همان‌طور که در نگاره ملاحظه می‌گردد نتایج شبکه آموزش دیده با PSO با دقت مناسبی بر مقدار واقعی داده‌ها منطبق بوده است. در نمودار مربوط به ساعت UTC=11:00، ۳ روز قبل از وقوع زمین‌لرزه اختلاف بارزی بین مقدار واقعی و پیش‌بینی شبکه عصبی ملاحظه می‌گردد که نشان دهنده آنامولی مورد نظر است.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)
تشخیص آنامولی های TEC قبل از وقوع زلزله ... / ۱۳

مقدار واقعی و پیش‌بینی شبکه عصبی ملاحظه می‌گردد که نشان‌دهنده آنامولی‌های مورد نظر است.

جدول ۱، RMSE خروجی شبکه عصبی به تنهایی و همچنین RMSE خروجی تلفیق شبکه عصبی با الگوریتم PSO را برای داده‌های ایستگاه زمینی اهر و داده‌های حاصل از ایستگاه‌های جهانی IGS (برای منطقه اهر) ارائه می‌دهد. بررسی نتایج نشان می‌دهد که میزان RMSE شبکه عصبی با بکارگیری الگوریتم PSO، هم برای ایستگاه زمینی و هم ایستگاه جهانی به مقدار قابل توجهی بهبود یافته است و دقت آن در پیش‌بینی بهتر شده است.

۲-۳ زلزله کاکلی بوشهر

۲-۳-۱ بررسی داده‌های ایستگاه‌های زمینی

نگاره ۷ تغییرات شاخص‌های ژئومغناطیسی را در بازه زمانی دو ماهه از تاریخ ۲۱ اسفند ماه تا ۱۰ اردیبهشت ماه ۱۳۹۲ نشان می‌دهد. با توجه به نگاره ۷ (الف) شاخص F10.7، ۵ روز قبل از زلزله و ۳ تا روز بعد از زلزله فعالیت

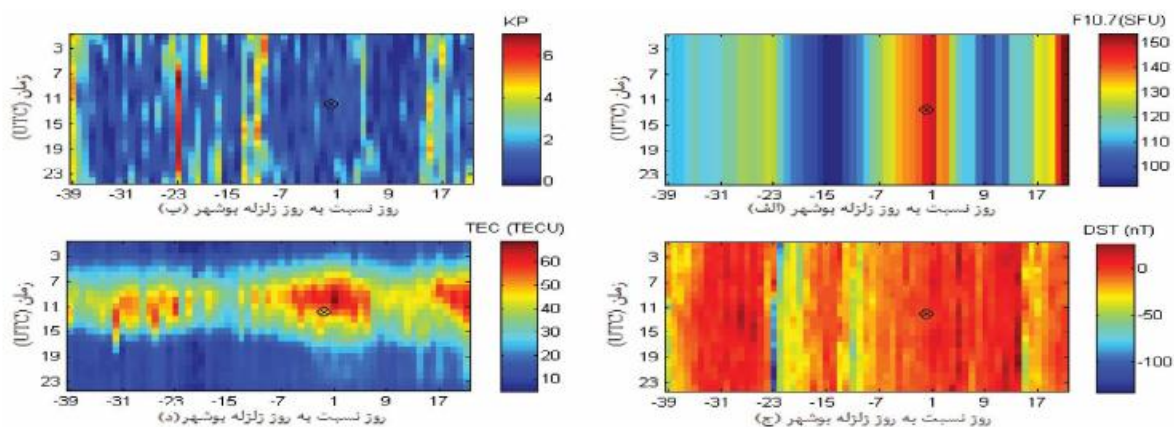
با استفاده از روابط (۶) به منظور آشکارسازی ناهنجاری محاسبه می‌گردد. نگاره ۵ (ج) نمایانگر رفتار غیرعادی TEC بدون در نظر گرفتن شاخص‌های ژئومغناطیسی است. ۵ روز بعد از زلزله آنامولی منفی (کاهش مقدار الکترون‌ها) در ساعت ۱۶:۰۰ ملاحظه می‌گردد و در نگاره ۵ (د) با اعمال اثر شاخص‌های ژئومغناطیسی حذف گردیده است که این موضوع بیانگر این است که این آنامولی مربوط به زمین‌لرزه نبوده است. نگاره ۵ (د) پیش‌بینی ناهنجاری TEC را ۴ روز قبل از زلزله در ساعت ۱۴:۰۰ (آنامولی منفی) و ۵ روز قبل از آن در ساعت ۱۲:۰۰ (آنامولی مثبت) نشان می‌دهد.

نگاره ۶ پیش‌بینی شبکه عصبی آموزش دیده با PSO و مقدار واقعی داده‌های TEC برای بازه‌های زمانی دو ساعته می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد نتایج شبکه آموزش دیده با PSO با دقت مناسبی بر مقدار واقعی داده‌ها منطبق بوده است.

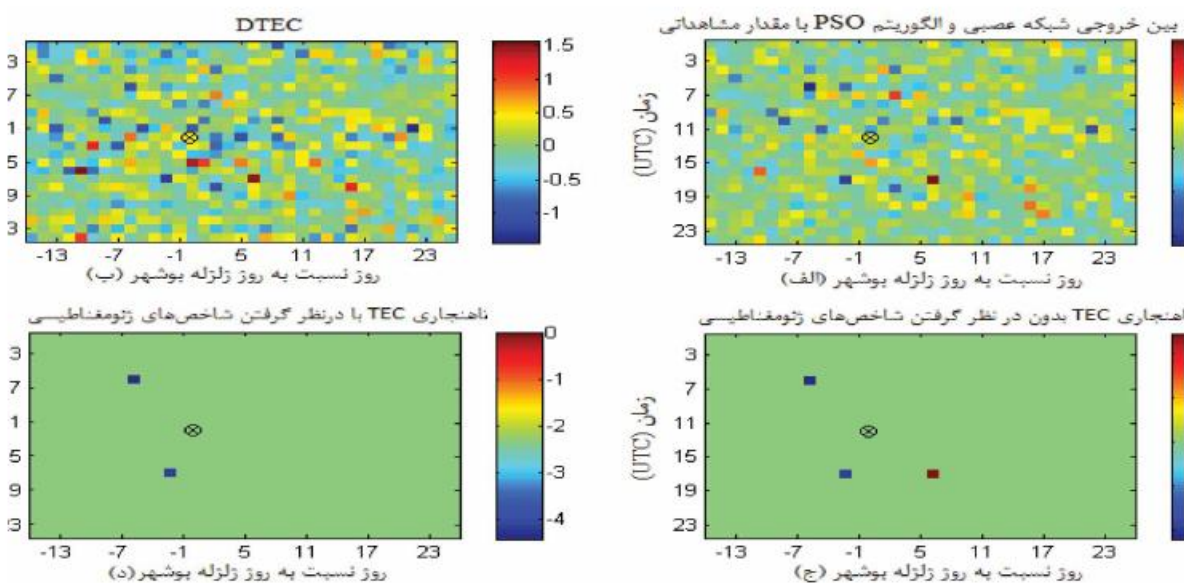
در نمودار مربوط به ساعت UTC=12:00 و UTC=14 به ترتیب ۵ و ۴ روز قبل از وقوع زمین‌لرزه اختلاف بارزی بین

جدول ۱ RMSE خروجی شبکه عصبی به تنهایی و RMSE تلفیق شبکه عصبی با الگوریتم PSO زلزله اهر

زمان (ساعت)	RMSE حاصل از شبکه عصبی	RMSE حاصل از تلفیق شبکه عصبی و PSO ایستگاه زمینی اهر	RMSE حاصل از شبکه عصبی ایستگاه جهانی	RMSE حاصل از شبکه عصبی و PSO ایستگاه جهانی
	ایستگاه زمینی اهر			
01:00	1.670	0.352	-	-
02:00	2.012	0.391	2.086	0.322
03:00	4.168	0.425	-	-
04:00	9.034	0.447	1.610	0.232
05:00	6.781	0.383	-	-
06:00	5.153	0.443	3.373	0.349
07:00	6.354	0.534	-	-
08:00	6.153	0.407	3.947	0.510
09:00	6.434	0.382	-	-
10:00	5.582	0.472	3.546	0.419
11:10	14.424	0.476	-	-
12:00	6.167	0.416	4.700	0.653
13:00	5.891	0.435	-	-
14:00	4.705	0.309	6.105	0.506
15:00	4.392	0.330	-	-
16:00	3.631	0.393	4.074	0.364
17:00	5.410	0.558	-	-
18:00	3.953	0.407	4.236	0.395
19:00	1.627	0.390	-	-
20:00	2.831	0.363	2.287	0.356
21:00	2.479	0.386	-	-
22:00	3.385	0.417	3.045	0.387
23:00	2.502	0.354	-	-
24:00	2.034	0.465	2.187	0.470



نگاره ۷ (الف) تغییرات شاخص ژئومغناطیسی F10.7، (ب) شاخص KP، (ج) شاخص DST و تغییرات TEC در بازه دو ماهه برای ایستگاه شیراز (د)



نگاره ۸ تشخیص آنامولی TEC با استفاده از شبکه عصبی با در نظر گرفتن شاخص های ژئومغناطیسی

داده های پردازش شده ایستگاه دائمی GPS شیراز در نگاره ۷ (د) بدون آنالیز و بدون اعمال اثر شاخص های ژئومغناطیسی، نشان می دهد که میزان TEC از ۷ روز قبل از وقوع زلزله تا ۶ روز بعد از وقوع آن رفتاری غیر عادی داشته است.

به منظور پیاده سازی شبکه عصبی مصنوعی ۴۰٪ از داده ها برای آموزش و ۶۰٪ برای آزمایش اختصاص داده شده است. در نگاره ۸ (الف) برای ۳۵ روز از داده های

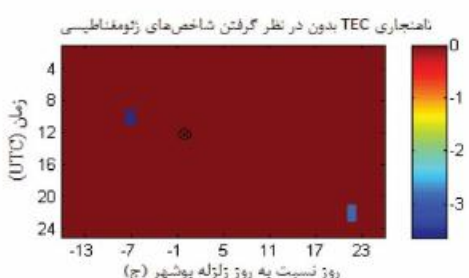
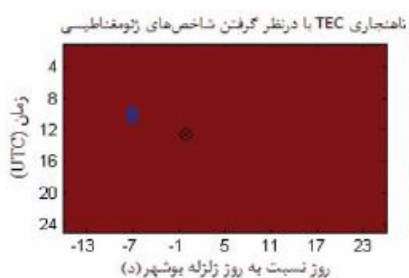
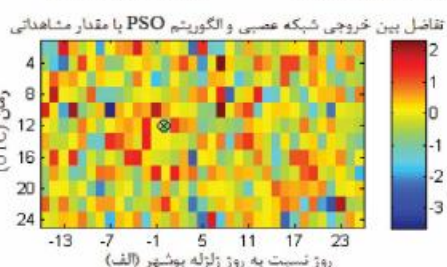
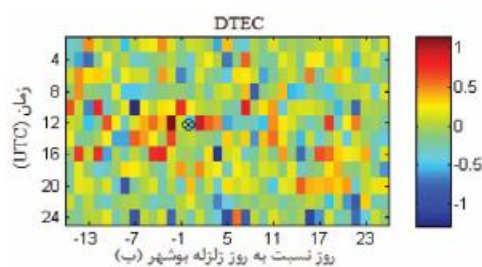
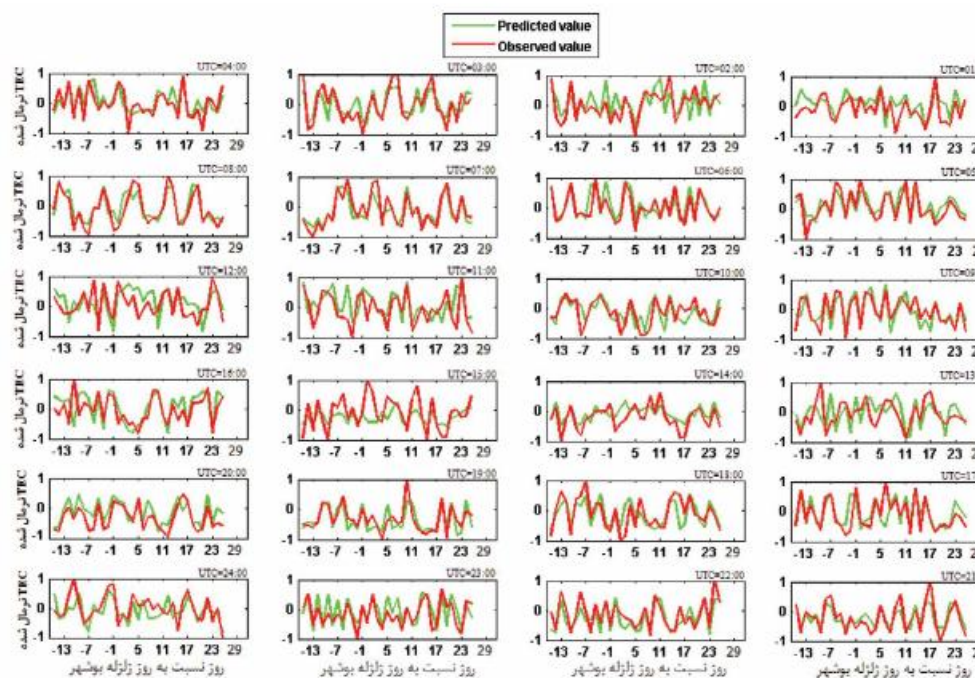
غیرعادی داشته است. به همین منظور باید اثر این شاخص مورد بررسی قرار گیرد تا نتایج حاصل از تغییرات TEC ناشی از اثر این پارامتر نباشد. شاخص KP در نگاره ۷ (ب) و شاخص DST در نگاره ۷ (ج) در بازه زمانی ۹ روز قبل از زلزله تا ۴ روز بعد از آن رفتاری عادی داشته اند و می توان نتیجه گرفت که تغییرات مشاهده شده در میزان TEC در محدوده زمانی نزدیک به زلزله تحت تأثیر این دو شاخص نبوده است.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)
 تشخیص آنامولی‌های TEC قبل از وقوع زلزله ... / ۱۵

از محدوده تعریف شده حذف گردند. در نگاره ۸ (د) شاخص‌های ژئومغناطیسی AP، DST و F10.7 به خروجی قسمت (ج) اعمال می‌شود تا اثر فعالیت‌های ژئومغناطیسی از مقادیر TEC برداشته شود. نتایج حاصل در نگاره ۸ (د) آنامولی ۲ روز قبل از زلزله در ساعت ۱۷:۰۰ و ۶ روز قبل از آن در ساعت ۰۶:۰۰ نمایان است. هر دو آنامولی اتفاق افتاده از نوع منفی می‌باشند. نگاره ۹ پیش‌بینی شبکه عصبی آموزش دیده با PSO و مقدار واقعی TEC حاصل از ایستگاه زمینی شیراز. نمودار فرمز رنگ مقادیر واقعی TEC و نمودار سبز رنگ پیش‌بینی شبکه عصبی

مورد نظر، تفاضل خروجی شبکه عصبی و الگوریتم PSO با مقدار مشاهداتی نشان داده شده است. محور افقی نشان دهنده فاصله روزها از روز زلزله و محور عمودی نشان‌دهنده زمان است. نگاره ۸ (ب) مقدار x تفاضلی داده‌ها را نشان می‌دهد. این مقدار با استفاده از روابط (۶) به منظور آشکارسازی ناهنجاری محاسبه می‌گردد. در نگاره ۸ (ج) با استفاده از روش میان‌چارکی و میانه، حد آستانه‌ای بر روی خروجی قسمت (ب) اعمال می‌شود تا مقادیر خارج

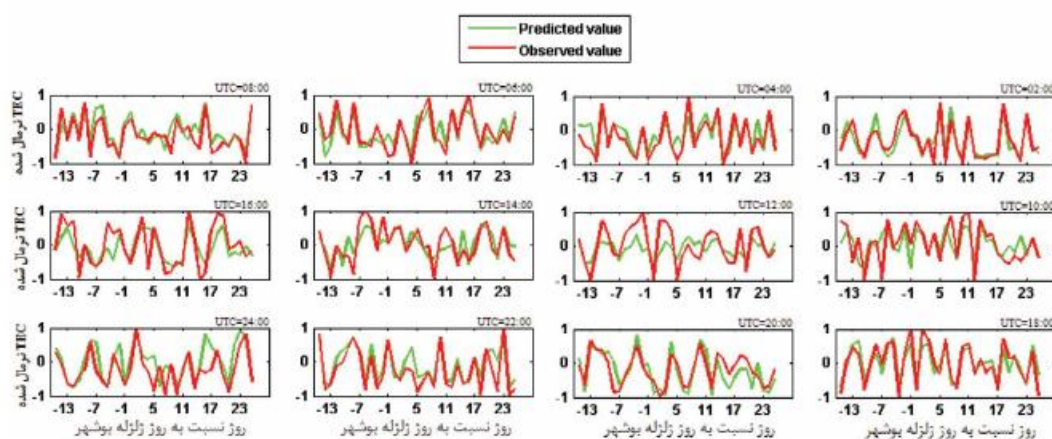
نگاره ۹ پیش‌بینی شبکه عصبی آموزش دیده با PSO و مقدار واقعی TEC حاصل از ایستگاه زمینی شیراز. نمودار فرمز رنگ مقادیر واقعی TEC و نمودار سبز رنگ پیش‌بینی شبکه عصبی



نگاره ۱۰ تشخیص آنامولی TEC با استفاده از شبکه عصبی با در نظر گرفتن شاخص‌های ژئومغناطیسی

بازه‌های زمانی یک ساعته نشان می‌دهد. در نمودار مربوط به ساعت‌های UTC=06:00 و UTC=17:00 به ترتیب ۶ و ۲ روز قبل از وقوع زمین‌لرزه اختلاف بارزی بین مقدار واقعی و پیش‌بینی شبکه عصبی ملاحظه می‌گردد که نشان‌دهنده آنامولی‌های مورد نظر است.

۲-۲-۳ بررسی داده‌های ایستگاه‌های جهانی شکل ۱۰ نتایج حاصل از تحلیل و آنالیز داده‌های ایستگاه‌های IGS و پیاده‌سازی شبکه عصبی و الگوریتم PSO بر روی آن می‌باشد. محور افقی نشان‌دهنده فاصله روزها از روز زلزله و محور عمودی نشان‌دهنده زمان است. در نگاره



نگاره ۱۱ پیش‌بینی شبکه عصبی آموزش دیده با PSO و مقدار واقعی داده‌های TEC حاصل از ایستگاه‌های جهانی. نمودار فرمز رنگ مقادیر واقعی TEC و نمودار سبز رنگ پیش‌بینی شبکه عصبی

جدول ۲ RMSE خروجی شبکه عصبی به تنهایی و RMSE تلفیق شبکه عصبی با الگوریتم PSO زلزله کاکي بوشهر

زمان (ساعت)	RMSE حاصل از شبکه عصبی ایستگاه زمینی	RMSE حاصل از تلفیق شبکه عصبی و PSO - ایستگاه زمینی	RMSE حاصل از شبکه عصبی ایستگاه جهانی	RMSE حاصل از تلفیق شبکه عصبی و PSO - ایستگاه جهانی
01:00	3.890	0.368	-	-
02:00	3.058	0.381	1.158	0.243
03:00	2.936	0.327	-	-
04:00	3.281	0.300	3.511	0.294
05:00	4.632	0.249	-	-
06:00	3.442	0.261	3.843	0.285
07:00	4.320	0.258	-	-
08:00	6.743	0.264	5.141	0.296
09:00	6.121	0.277	-	-
10:00	10.322	0.348	8.599	0.425
11:10	7.548	0.482	-	-
12:00	8.135	0.454	8.672	0.444
13:00	8.347	0.440	-	-
14:00	7.348	0.302	7.997	0.340
15:00	6.541	0.463	-	-
16:00	6.969	0.432	7.546	0.430
17:00	3.894	0.393	-	-
18:00	3.868	0.361	2.659	0.244
19:00	5.617	0.266	-	-
20:00	2.984	0.304	3.902	0.312
21:00	3.219	0.247	-	-
22:00	3.145	0.301	2.188	0.290
23:00	2.060	0.347	-	-
24:00	2.643	0.383	2.153	0.428

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر)
تشخیص آنامولی‌های TEC قبل از وقوع زلزله ... / ۱۷

الگوریتم شبکه عصبی و بهینه سازی توده ذرات نتایج خوبی را در آشکارسازی ناهنجاری TEC از خود ارائه داده‌اند.

منابع و مأخذ

۱- المدرسی، تابان، عبدی؛ سیدمحمدتقی، محمدرضا، جواد. (۱۳۸۳). «استفاده از شبکه عصبی در افزایش دقت گیرنده‌های GPS تک فرکانسه پس از حذف اثر SA». نهمین

کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق

۲- صادقی، فرهاد. (۱۳۸۶). «مدل‌سازی اثر یونسفر با استفاده از آنالیز مشاهدات دوفرکانسه شبکه‌های دائمی GPS و کاربرد آن در علوم مهندسی و فیزیک». اولین همایش پیش‌نشانگرهای زلزله

۳- عبدی، نانکلی؛ ناصر، حمیدرضا. (۱۳۹۳). «بررسی تغییرات زمانی و مکانی TEC در ایران با استفاده از مشاهدات GPS». نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری، ص.

۱۱۳-۱۲۱

۴- کاشفی کاویانی، پورموسوی کانی؛ علی، علی. (۱۳۸۶). «آموزش شبکه عصبی چندلایه با به‌کارگیری الگوریتم PSO». اولین کنگره مشترک سیستم‌های فازی و سیستم‌های هوشمند

5-Akhoodzadeh, M. (2013). A MLP neural network as an investigator of TEC time series to detect seismo-ionospheric anomalies. *Advances in Space Research* 51, 2048-2057.

6- Akhoodzadeh, M. (2013). An Adaptive Network-based Fuzzy Inference System for the detection of thermal and TEC anomalies around the time of the Varzeghan, Iran, (Mw= 6.4) earthquake of 11 August 2012. *Advances in Space Research* 52, 837-852.

7- Akhoodzadeh, M. (2013). Genetic algorithm for TEC seismo-ionospheric anomalies detection around the time of the Solomon (Mw=8.0) earthquake of 06 February 2013. *Advances in Space Research* 52, 581-590.

8- Akhoodzadeh, M. (2012). Anomalous TEC variations associated with the powerful Tohoku earthquake of 11 March 2011. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 12, 1453-1462

9- Akhoodzadeh, M. (2013). Support vector machine

۱۰(الف) برای ۳۵ روز از داده‌های مورد نظر، تفاضل مقدار پیش‌بینی شده حاصل از شبکه عصبی با مقادیر مشاهداتی به ازای هر دو ساعت نشان داده شده است. نگاره ۱۰ (ب) مقدار x تفاضلی داده‌ها را نشان می‌دهد که از روابط (۶) حاصل شده است. در نگاره ۱۰(ج) با استفاده از روابط (۶)، حد آستانه‌ای بر روی خروجی قسمت (ب) اعمال می‌شود (بدون در نظر گرفتن اثر شاخص‌های ژئومغناطیسی) و در نهایت اثر شاخص‌ها اعمال می‌گردد و نتایج آن در نگاره ۱۰(د) پیش‌بینی ناهنجاری TEC را ۷ روز قبل از زلزله در ساعت ۱۰:۰۰ نشان می‌دهد.

نگاره ۱۱ پیش‌بینی شبکه عصبی آموزش دیده با PSO و مقدار واقعی داده‌های TEC را برای بازه‌های زمانی دو ساعته نشان می‌دهد. در نمودار مربوط به ساعت UTC=10:00، ۷ روز قبل از وقوع زمین‌لرزه اختلاف بسیار بارزی بین مقدار واقعی و پیش‌بینی شبکه عصبی ملاحظه می‌گردد که نشان‌دهنده آنامولی‌های از نوع منفی است.

جدول ۲، RMSE خروجی شبکه عصبی به تنهایی و همچنین RMSE خروجی تلفیق شبکه عصبی با الگوریتم PSO را برای داده‌های ایستگاه زمینی شیراز و داده‌های حاصل از ایستگاه‌های جهانی IGS (برای منطقه شیراز) ارائه می‌دهد. بررسی نتایج نشان می‌دهد که میزان RMSE شبکه عصبی با به‌کارگیری الگوریتم PSO، هم برای ایستگاه زمینی و هم ایستگاه جهانی به مقدار قابل توجهی بهبود یافته است و دقت آن در پیش‌بینی بهتر شده است.

۴- نتیجه‌گیری

تشخیص رفتارهای غیرعادی TEC قبل از وقوع زلزله از اهمیت زیادی به عنوان پیش‌نشانگر زلزله برخوردار است. نرم افزار Bernese نتایج خوبی از پردازش داده‌های GPS در محاسبه محتوای الکترون‌های لایه یونسفر ارائه می‌نماید که تحلیل خروجی آن همبستگی بالایی با داده‌های ایستگاه‌های جهانی دارد. در این مقاله سعی بر این بوده است که روشی هوشمند و کارا برای این منظور استفاده گردد که از این میان

- World Academy of Science, Engineering and Technology 59 .
- 19- Meza, A. Brunini, C. Kleusberg, A. (2000). Global ionospheric models in three dimensions from GPS measurements: Numerical simulation. *Geofísica Internacional* 39, 21-27.
- 20- naggar, Aly M El. (2013). Artificial neural network as a model for ionospheric TEC map to serve the single frequency receiver. *Alexandria Engineering Journal* 52, 425-432.
- 21- Saroso, S. Liu, L. Hattori, K. Chen, C. (2008). Ionospheric GPSTEC Anomalies and $M > 5.9$ Earthquakes in Indonesia during 1993 - 2002. *Terr. Atmos. Ocean. Sci* 19, 481-488.
- 22- Seradjian, M R Akhoondzadeh, M. (2010). Prediction of the date, magnitude and affected area of impending strong earthquakes using integration of multi precursors earthquake parameters. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 1109-1119.
- 23- Telbany, Mohammed El, Karmi, Fawwaz El. (2007). Short-term forecasting of Jordanian electricity demand using particle swarm optimization. *Electric Power Systems Research* 78, 425-433.
- 24- Xia, C. Yang, S. Xu, G. Zhao, B. Yu, T. (2011). Ionospheric Anomalies Observed by GPS TEC Prior to the Qinghai-Tibet Region Earthquakes. *Terr. Atmos. Ocean. Sci* 22, 177-185.
- 25- Yao, Y B. Chen, P. Zhang, S. Chen, J. Yan, F. Peng, W F. (2012). Analysis of pre-earthquake ionospheric anomalies before the global $M = 7.0+$ earthquakes in 2010". *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 12, 575-585.
- 26- Zhao, L. Yang, Y. (2009). PSO-based single multiplicative neuron model for time series prediction. *Expert Systems with Applications* 36, 2805-2812.
- for TEC seismo-ionospheric anomalies detection. *Ann. Geophys.* 31, 173-186 .
- 10- Akhoondzadeh, M. (2013). Novelty detection in time series of ULF magnetic and electric components obtained from DEMETER satellite experiments above Samoa (29 September 2009) earthquake region. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 13, 15-25, 2013.
- 11- Akhoondzadeh, M. (2013). A comparison of classical and intelligent methods to detect potential thermal anomalies before the 11 August 2012 Varzeghan, Iran, earthquake ($M_w = 6.4$). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 13, 1077-1083.
- 12- Akhoondzadeh, M. Saradjian, M R. (2010). TEC variations analysis concerning Haiti (January 12, 2010) and Samoa (September 29, 2009) earthquakes. *Advances in Space Research* 47, 94-104.
- 13- Akhoondzadeh, M. Parrot, M. Saradjian, M R. (2010). Electron and ion density variations before strong earthquakes ($M > 6.0$) using DEMETER and GPS data". *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 10, 7-18.
- 14- Akhoondzadeh, M. Parrott, M. Saradjian, M R. (2010). Investigation of VLF and HF waves showing seismo-ionospheric anomalies induced by the 29 September 2009 Samoa earthquake ($M_w = 8.1$). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 10, 1061-1067.
- 15- Da Costa, A, Vilas Boas, J. Da Fonseca Junior, E. (2004). GPS Total Electron Content measurements at low latitudes in Brazil for low solar activity. *Geofísica Internacional* 43, 129-137.
- 16- Garner, T W. Gaussiran, T L. Tolman, B W. Harris, R B. Calfas, R S. Gallagher, H. (2008). Total electron content measurements in ionospheric physics. *Advances in Space Research* 42, 720-726 .
- 17- Mahnam, M. Fatemi Ghomi, S.M.T. (2012). A Particle Swarm Optimization Algorithm for Forecasting Based on Time Variant fuzzy Time Series. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research* 23, 269-276 .
- 18- Mann, M. Lognonne, P, Rolland, L. (2011). Ionospheric TEC Calculation from GPS Data and a Non-linear Frequency-Domain Approach for Approximation and Spectral Representation of Ionospheric Perturbances.