



پنجمین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله  
5<sup>th</sup> International Conference on  
Seismology and Earthquake Engineering



## **REVIEW OF RECENT ADVANCES IN EARTHQUAKE PREDICTION USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK ALGORITHMS**

S.A.Anvar<sup>1</sup>, G.H. Dastgheibifard<sup>2</sup>, E.Nikooee<sup>3</sup>, R. Maghareh<sup>4</sup>

### **Abstract:**

In recent years, several attempts with the aim of predicting the spatial and temporal distribution of earthquakes have been carried out. As the Artificial Neural Networks (ANNs) have shown their aptitude and high capabilities of predicting the trend of some temporal and spacio-temporal series, their application to the earthquake records of appropriate time span for the prediction of upcoming events looks promising

In the present paper, ANN algorithms employed for predicting the earthquake recurrence models are categorized, sample research for each category is selected, and brief results are presented. Emphasis, here, has been put into the investigation and comparison of the effectiveness, capability and performance of different algorithms employed by different researchers.

---

<sup>1</sup> Assistant professor, Department of Civil Engineering, Shiraz university, Shiraz, Iran

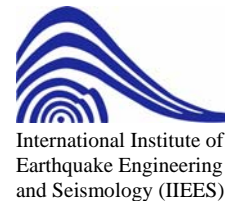
<sup>2</sup> Assistant professor, Department of Computer Science and Engineering, Shiraz university, Shiraz, Iran

<sup>3</sup> Graduate student, Department of Civil Engineering, Shiraz university, Shiraz, Iran

<sup>4</sup> B.Sc. student, Department of Computer Science and Engineering, Shiraz university, Shiraz, Iran



پنجمین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله  
5<sup>th</sup> International Conference on  
Seismology and Earthquake Engineering



کد موضوع: EP4

تاریخ: ۸۵/۸/۲۹

آقای دکتر سید احمد انوار

دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز

جناب آقای دکتر انوار،

احتراماً، با ستحضار میرساند که مقاله تحت عنوان:

" بررسی مطالعات انجام شده در زمینه پیش بینی زلزله با استفاده از الگوریتم های شبکه های عصبی مصنوعی "

با همکاری: غلامحسین دستغیبی فرد، احسان نیکویی، رسول مغاره

جهت ارائه در پنجمین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله به صورت **مشروط** پذیرفته شده است. خواهشمند است متن کامل مقاله خود را دقیقاً مطابق راهنمای پیوست تهیه و بصورت الکترونیکی آن تا تاریخ ۸۵/۱۱/۱۱ به آدرس دبیرخانه کنفرانس ارسال فرمائید. بدیهی است قبول نهایی با توجه به پذیرش کمیته داوری پس از بررسی کامل مقاله متعاقباً اعلام می گردد.

شایان ذکر است که قبول نهایی مقالات، ارائه آن در CD مجموعه مقالات کنفرانس و تعیین زمان ارائه مقاله، منوط به ثبت نام و پرداخت هزینه شرکت در کنفرانس قبل از تاریخ ۸۶/۱/۲۶ می باشد. امید است با حضور جنابعالی در این کنفرانس، محیط علمی مناسبی جهت ارتباط بین محققان و دانشمندان ایرانی و دیگر کشورها ایجاد گردد. توفیق روزافزون شما را از درگاه ایزد منان مسئلت می نمایم.

محسن غفوری آشتیانی



رئیس پژوهشگاه و رئیس کنفرانس SEE5

**SEE5 Organizing Committee:**

IIEES: 26 Arghavan St., North Dibajee, Farmanieh, Tehran, I.R.Iran

Tel: +98 21-22830830 Fax: +98 21-22299479 email:SEE5@iiees.ac.ir www.iiees.ac.ir/SEE5



## بررسی مطالعات انجام شده در زمینه پیش بینی زلزله با استفاده از الگوریتم های شبکه های عصبی مصنوعی

سید احمد انوار<sup>۱</sup>؛ غلامحسین دستغیبی فرد<sup>۲</sup>؛ احسان نیکویی<sup>۳</sup>؛ رسول مغاره<sup>۴</sup>

### چکیده

در طی سال های اخیر تلاش هائی برای بررسی و پیش بینی توزیع زمانی و مکانی زلزله ها به کمک شبکه های عصبی مصنوعی انجام شده است. از آنجائی که شبکه های عصبی مصنوعی کارائی خود را در پیش بینی روند سری های زمانی و زمانی - مکانی به خوبی نشان داده اند، چنین به نظر میرسد که می توان، با در نظر گرفتن مجموعه زلزله های به وقوع پیوسته در یک دوره زمانی مناسب، به پیش بینی الگوی زمانی - مکانی زلزله های متعاقب پرداخت. در این مقاله الگوریتم های پیش بینی الگوی وقوع زلزله که بر اساس تکنیک شبکه های عصبی مصنوعی بنا نهاده شده اند بررسی شده، دسته بندی گردیده، نمونه ای از هر دسته انتخاب شده و نتایج آن ها ارائه گردیده است. آنچه بیشتر در این مقاله مورد توجه خواهد بود بررسی کارائی و عملکرد الگوریتم های استفاده شده توسط محققین مختلف می باشد.

**واژه های کلیدی:** پیش بینی زلزله، شبکه های عصبی مصنوعی

### 1 - مقدمه

همه ساله زلزله های زیادی در مناطق مختلف جهان بوقوع می پیوندد. این زلزله ها خسارت های مالی و جانی بسیاری را به کشورها تحمیل می نمایند. آمارهای رسمی نشان می دهند که در طی 20 سال گذشته، حوادث طبیعی باعث مرگ بیش از سه میلیون نفر و مجروح شدن حداقل 800 میلیون نفر در جهان شده اند. تنها طی دهه 1996 - 1987 میلادی خسارت های ناشی از حوادث عظیم به بیش از چهار صد میلیارد دلار رسیده و این در حالی است که در دهه قبل میزان خسارت ها 147 میلیارد دلار و در دو دهه قبل، 100 میلیارد دلار گزارش شده بوده است. در این میان، ایران جزء 10 کشور حادثه خیز جهان است و 90٪ جمعیت کشور در معرض خطرات ناشی از سیل و زلزله قرار دارند. تنها طی هفت سال گذشته حوادث طبیعی بیش از 2157 میلیارد ریال خسارت به ایران وارد نموده است، و بدین سان این کشور را از نظر آمار وقوع حوادث طبیعی در مقام ششم جهانی قرار داده است، [1].

پیش بینی حوادث طبیعی همانند زلزله از دیر باز یکی از آمال بشر بوده، هر چند عواقب مترتب بر و نحوه استفاده از نتایج پیش بینی نیز همواره خود مبحثی چالش برانگیز بوده است. علیرغم این، این سؤال که آیا امکان پیش بینی زلزله وجود دارد موضوع بسیاری از تحقیقات در دهه های گذشته قرار گرفته است، [2] و [3]. شورای تحقیقات ملی ایالات

<sup>1</sup> عضو هیأت علمی بخش مهندسی راه و ساختمان، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز، [anvar@shirazu.ac.ir](mailto:anvar@shirazu.ac.ir)

<sup>2</sup> عضو هیأت علمی بخش مهندسی علوم و کامپیوتر، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز، [dstghaib@shirazu.ac.ir](mailto:dstghaib@shirazu.ac.ir)

<sup>3</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد بخش مهندسی راه و ساختمان، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز، [ehsan\\_nikooee@yahoo.com](mailto:ehsan_nikooee@yahoo.com)

<sup>4</sup> دانشجوی کارشناسی، بخش مهندسی علوم و کامپیوتر، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز، [maghareh@cse.shirazu.ac.ir](mailto:maghareh@cse.shirazu.ac.ir)

متحده، برای پیش بینی زلزله چنین بیان می دارد که: "پیش بینی زلزله باید بازه بزرگی زلزله مورد نظر، منطقه جغرافیایی که زلزله در آن اتفاق خواهد افتاد، و همچنین بازه زمانی که زلزله طی آن اتفاق خواهد افتاد را با دقت مناسبی مشخص کند" [4]. بر این مبنا، پیش بینی زلزله ها بر اساس محدوده زمانی آن ها به دسته های زیر قابل تقسیم می باشند، [5].

1. بلند مدت ( برای زمانی در حد یک دهه)
2. میان مدت ( برای زمانی در حد چند سال)
3. کوتاه مدت ( برای زمانی در حد چند هفته)
4. لحظه ای ( برای زمانی در حد چند روز یا کمتر).

از آنجایی که شبکه های عصبی مصنوعی کارائی خود را در پیش بینی روند سری های زمانی و سری های زمانی- مکانی به خوبی نشان داده اند، طی سال های اخیر تلاش هائی برای به کار گیری شبکه های عصبی مصنوعی در بررسی و پیش بینی توزیع زمانی و مکانی زلزله ها انجام شده است که در ادامه در بخش 3 مورد اشاره قرار خواهند گرفت. قبل از ورود به این بخش، در بخش 2 مبانی شبکه های عصبی به اختصار معرفی خواهند شد و در بخش 4 نتیجه گیری کلی ارائه خواهد گردید.

## 2- شبکه های عصبی

شبکه عصبی عبارت است از مجموعه ای عظیم از پردازشگرهای موازی که استعداد ذاتی برای ذخیره اطلاعات تجربی و بکارگیری آن را دارند. شبکه های عصبی مصنوعی در مقایسه با سیستم های هوشمند که در آنها دانش توسط یک سری از قوانین پیاده سازی می شود، عمل یادگیری را از طریق مثال های موجود انجام می دهند و قوانین خود را خود ایجاد می نمایند، [6]. در حقیقت، شبکه های عصبی مصنوعی ایده های الهام گرفته شده از شیوه ی کارکرد سیستم عصبی زیستی، برای پردازش اطلاعات می باشند.

شبکه های عصبی به دو دسته اصلی با نظارت (Supervised) و بدون نظارت (Unsupervised) تقسیم می شوند. منظور از شبکه های با نظارت شبکه هایی می باشند که در آنها تصمیم گیری شبکه در مورد ورودی بر اساس نمونه ورودی ها و خروجی متناظر با آنها که قبلاً مشاهده کرده است می باشد. اما در شبکه های بدون نظارت هیچ پیش فرضی در شبکه وجود ندارد و شبکه بر اساس ورودی های متناظر خود، خروجی های خاصی را ایجاد می نماید، بدون اینکه پیش از این خروجی خاصی را دیده باشد. همچنین می توان شبکه های عصبی را بر اساس شیوه پردازش اطلاعات در آنها، به دو گروه شبکه های پیشخور (Feed Forward) و نیز شبکه های برگشتی (Recurrent) یا پسخور که در آنها از برگشت خروجی استفاده شده است تقسیم کرد.

## 2-1- شبکه پیشخور

شبکه عصبی پیشخور از تعدادی واحد پایه به نام نرون تشکیل می گردد که در چند لایه قرار می گیرند. عموماً نرون های یک لایه به یکدیگر متصل نمی باشند و تنها با نرون های لایه بعد و قبل در ارتباط می باشند. نرون های لایه اول متغیر های ورودی مسئله را دریافت می دارند و نرون های لایه آخر متغیر های خروجی و مطلوب مسئله را محاسبه می کنند. بین لایه های اول و آخر لایه های میانی یا پنهان قرار دارند. اتصال هر نرون به نرونی از لایه بعد با یک وزن مشخص برقرار می گردد. به این ترتیب خروجی نرون  $j$  شبکه،  $h_j$  از رابطه (1) به دست می آید.

$$h_j = f(m) = f \left[ \sum_i (w_{ij} x_{ij}) + b_j \right] \quad (1)$$

در این رابطه  $w_{ij}$  وزن اتصال نرون  $i$  به نرون  $j$ ،  $x_{ij}$  خروجی نرون  $i$  و ورودی به نرون  $j$ ،  $b_j$  مقدار بایاس در نرون  $j$  و  $f$  تابع محرک نرون  $j$  می باشد. تابع محرک توسط طراح شبکه عصبی انتخاب می گردد. یکی از توابع محرک متداول در شبکه های عصبی پیشخور، تابع محرک زیگمویید می باشد که در رابطه (2) نشان داده شده است.

$$f(m) = \frac{1}{1 + e^{-m}} \quad (2)$$

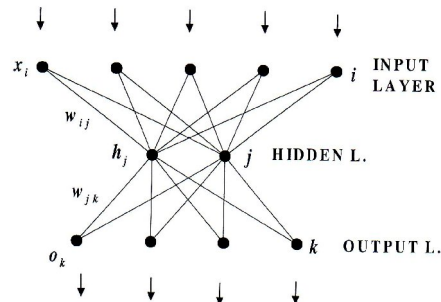
در این رابطه،  $m$  عبارت نشان داده شده در رابطه (1) می باشد. برای استفاده از شبکه های عصبی، داده ها به دو دسته کلی داده های آموزش شبکه و داده های آزمایش (تست) شبکه تقسیم می گردند. فرایند آموزش شبکه با اعمال داده های آموزشی به شبکه صورت می پذیرد. در طی عملیات یادگیری شبکه، وزن ها و مقادیر بایاس آنقدر تغییر می نمایند که خروجی شبکه با مقادیر واقعی متغیر مورد نظر از بیشترین تطبیق برخوردار باشد و خطا؛ که معمولاً به صورت جذر مجموع مربعات تفاضل مقادیر حقیقی و تخمینی متغیرهای خروجی تعریف می گردد؛ به کمترین مقدار ممکن میل نماید. در شبکه های پیشخور از الگوریتم یادگیری پس انتشار استفاده می شود. در صورتی که مقادیر خطا به عنوان تابعی چند متغیره از مقادیر وزن ها در نظر گرفته شود، در الگوریتم پس انتشار مقادیر وزن اتصالات نرون ها در هر گام آموزش شبکه بایک مقدار تصحیح بهبود می یابد. این مقدار تصحیح متناسب با شیب تابع (سطح) خطای شبکه در هر وزن می باشد. در هر گام، خطا در نرون  $p$  ام لایه خروجی،  $E_p$ ، محاسبه و از رابطه (3) مقدار تصحیح وزن خروجی نرون  $i$  و ورودی به نرون  $j$ ،  $\Delta^p w_{ij}$ ، به دست می آید.

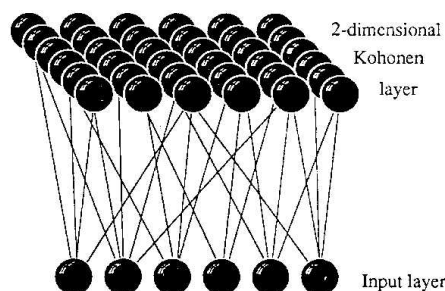
$$\Delta^p w_{ij} = \eta \frac{\partial E_p}{\partial w_{ij}} \quad (3)$$

در این رابطه  $\eta$  ضریب تناسب می باشد. با پس انتشار مقدار تصحیح، وزن اتصالات شبکه و مقادیر بایاس بهبود می یابند. نمونه ای از شبکه عصبی پیشخور در شکل (1) الف، نمایش داده شده است.

## 2-2 – شبکه های خود سازمان ده

شبکه های خود سازمان ده (Self Organization Feature Maps) SOFM و یا SOM یکی دیگر از روش های زیر مجموعه شبکه عصبی بدون نظارت (Unsupervised) می باشند. در این نوع شبکه ها، از روش یادگیری رقابتی برای آموزش استفاده می شود. در این نوع شبکه ها واحد های پردازش گر در نرون های یک شبکه ی یک بعدی، دو بعدی یا بیشتر قرار داده می شوند. نرون ها در یک فرآیند یادگیری رقابتی نسبت به الگوهای ورودی منظم می شوند. محل نرون های شبکه به گونه ای تنظیم می گردد که برای ویژگی های ورودی، یک دستگاه مختصات معنی دار روی شبکه ایجاد شود که در آن، محل قرار گرفتن نرون ها، متناظر ویژگی های ذاتی الگوهای ورودی است. در طی فرایند یادگیری، نرونی که بردار وزن آن دارای کمترین فاصله با بردار ورودی است به عنوان نرون برنده انتخاب می شود. سپس وزن آن نرون و نرون هائی که در یک همسایگی مشخص از آن نرون قرار دارند به گونه ای به روز می گردند که میزان خطای شبکه در هنگام تشخیص بردارهای جدید مشابه آن ورودی کاهش یابد. بنابراین الگوریتم کلی در این شبکه ها به این صورت است که یک ورودی به شبکه اعمال می شود. نرونی که دارای نزدیک ترین حالت به بردار ورودی است مشخص می شود. حال این نرون و تعدادی از نرون های همسایه آن به سمت ورودی حرکت می کنند. توپولوژی چنین شبکه ای در شکل (1) ب نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود شبکه از دو لایه ورودی و خروجی تشکیل شده است. تعداد نرون ها در لایه ورودی بر اساس بردار ورودی مشخص می شود و لایه خروجی که معمولاً یک یا دو بعدی است ترکیبی از نرون هاست که با یکدیگر ارتباط دارند.





شکل (1) ب: نمونه ای از توپولوژی یک شبکه خود سازمان ده.

شکل (1) الف: نمایش شبکه پیشخور سه لایه ای، [7].

### 3- مرور مطالعات انجام شده

در بررسی های انجام شده توسط محققین کشورهای مختلف از جمله چین، مجارستان، ایران، یونان، ترکیه و پرتغال شبکه های عصبی مصنوعی برای نیل به سه هدف اساسی زیر در نظر گرفته شده اند.

- ❖ پیش بینی زلزله های فرارو با در نظر گرفتن الگوی لرزه خیزی منطقه: بودری، [7]، ونگ و همکاران، [8]، لیو و همکاران، [9] و آلوز، [10].
- ❖ بررسی الگوی وقوع پس لرزه ها: علامه زاده و مختاری، [11] و علامه زاده، [12].
- ❖ بررسی روند تغییرات پارامترهای فیزیکی و آموزش شبکه در جهت پیش بینی وقوع زلزله: روویتاکیس و والیاناتوس، [13] و اوزردم و همکاران، [14].

### 3-1- پیش بینی زلزله های فرارو با در نظر گرفتن الگوی لرزه خیزی منطقه

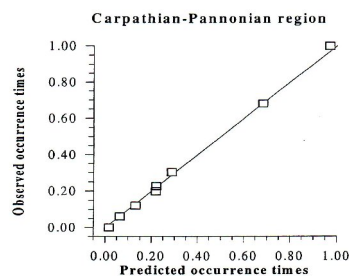
#### 3-1-1- تعیین محدوده زمانی برای زلزله های با بزرگای بیش از 6 ریشتر

در این زمینه جامع ترین تحقیق در سال 2001 توسط بودری از مؤسسه ژئوفیزیک آکادمی علوم مجارستان صورت گرفته است. این محقق شبکه عصبی پیشخور سه لایه ای را جهت تعیین فاصله زمانی بین زلزله های بزرگ فرارو، ( $M > 6$ )، به کار بست و در شبکه عصبی از تابع محرک زیگموئید استفاده نمود.

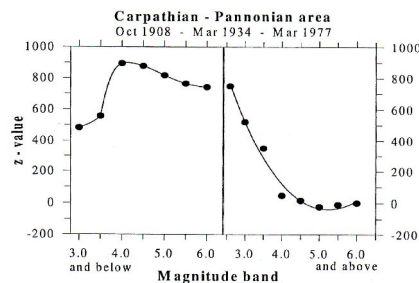
با توجه به این که در طی سالیان تعداد دستگاه های لرزه نگار در مجارستان تغییر نموده بود و فرکانس اندازه گیری زلزله ها افزایش یافته بود، بودری به این نتیجه رسید که چنانچه تغییر لرزه خیزی مصنوعی ناشی از تغییرات تعداد و تجمع دستگاه های شتابنگار را در ورودی به شبکه عصبی تصحیح ننماید، جواب حاصل از شبکه عصبی مصنوعی نامناسب و دور از واقعیت خواهد بود. لذا این محقق پارامتر آماری  $Z$  را که توسط هابرمان، [15]، در سال 1987 ارائه شده بود به کار گرفت تا به جای استفاده از کل داده های کاتالوگ زلزله مجارستان از زیر مجموعه های این داده ها استفاده نماید. پارامتر  $Z$ ، برای داده های کاتالوگ یا زیر مجموعه ای از آن در دو دوره زمانی با تعداد  $N_1$  و  $N_2$ ، میانگین های  $V_1$  و  $V_2$  و مقادیر انحراف استاندارد  $S_1$  و  $S_2$  به کمک رابطه (4) محاسبه می گردد.

$$Z = \frac{V_1 - V_2}{\sqrt{\left(\frac{S_1^2}{N_1} + \frac{S_2^2}{N_2}\right)}} \quad (4)$$

این محقق کل داده ها و نیز زیر مجموعه هائی که شامل داده های فراتر از یک بزرگی خاص بودند و نیز مکمل این زیرمجموعه ها را به دو دوره زمانی اکتبر 1908 تا مارس 1934 و مارس 1934 تا مارس 1977 تقسیم نمود و برای هر دسته خاص در این دو دوره زمانی پارامتر Z را محاسبه نمود که نتیجه آن در شکل (2) الف آورده شده است. همان گونه که در این شکل دیده می شود، در صورتی که داده ها را در مقدار بزرگی 4 به دو دسته تقسیم کنیم دسته داده هائی که زلزله های با بزرگی بیش تر از 4 ریشتر را شامل می شود برای هر دو دوره زمانی مورد نظر کمترین مقدار Z را به دست می دهند. این بدان معناست که در صورتی که تنها داده های با بزرگی بیش از 4 ریشتر در نظر گرفته شوند، تاثیر فرکانس اندازه گیری کمتر مشهود خواهد بود و داده های یکنواخت تری از این حیث به دست خواهد آمد. شبکه عصبی ساخته شده توسط این محقق در هر گام آموزش چهار جزء اطلاعاتی شامل 1 و 2- بزرگی آخرین دو زلزله بابرگای بیش از 6 ریشتر، 3- تعداد زلزله های بزرگتر از 4 ریشتر بین دو زلزله فوق الذکر و 4- تعداد زلزله های با بزرگای بیش از 4 ریشتر بین آخرین زلزله بزرگ و آخرین داده کاتالوگ را به عنوان اطلاعات ورودی از کاربر دریافت می نماید. به عنوان خروجی شبکه عصبی زمان زلزله های بزرگ فرارو و مقدار بزرگی آن را پیش بینی می نمود. بودری این روش را بر روی منطقه پلونسوس در یونان و نیز منطقه کارپاتیان - پانونین در مجارستان پیاده نمود. نمونه ای از عملکرد شبکه عصبی بودری در شکل (2) ب ارائه شده است. همان گونه که مشاهده می شود شبکه به خوبی زمان وقوع زلزله های بزرگ فرارو را تشخیص داده است. لازم به ذکر می باشد که مقادیر محور زمان در این شکل بین 0 و 1 می باشد. استفاده از تابع زیگمویید سبب شده است تا بودری مجبور گردد زمان وقوع زلزله ها را به اعدادی بین 0 و 1 انتقال دهد. در این صورت خروجی شبکه با عمل انتقال عکس، زمان واقعی را به دست می دهد. با انجام بررسی های گوناگون بودری دریافت پیش بینی او دقتی در حد  $\pm 2/5$  سال دارد که نسبت به دقت دیگر الگوریتم های پیش بینی زمان وقوع زلزله بعدی قابل ملاحظه و استفاده می باشد.



شکل (2)ب: نتایج عملکرد شبکه عصبی بودری، [7].



شکل (2)الف: نتایج مقادیر Z برای منطقه کارپاتیان، [7].

### 3-1-2- تعیین محدوده ی زمانی- مکانی- شدت زلزله های آتی

در بین سال های 1994 تا 2004، آلو، [10]، با ترکیب ابزارهای ریاضی که جهت پیش بینی الگوی تغییرات سری های زمانی اقتصادی به کار می روند با یک شبکه عصبی پیشخور، به بررسی تاریخچه شدت زلزله های رخ داده در منطقه آژورس پرتغال پرداخت. وی ابتدا هفت نوسانگری را که در اقتصاد جهت پیش بینی روند تغییرات سری های زمانی، همانند ارزش اوراق بهادار در طی یک دوره زمانی، به کار می رود، بر روی زمان، مکان و شدت زلزله های رخ داده در منطقه آژورس پرتغال پیاده نمود. این نوسانگرها عبارتند از :

RM: شاخص تلفیقگر حقیقی (Real-Modulated Index)،

RSI: شاخص قدرت حقیقی (Real Strength Index)،

SO: نوسان گر تصادفی (Stochastic Oscillator)،

ODI: شاخص بهینه شده ی تصمیم گیری (Optimized Decision Index)،

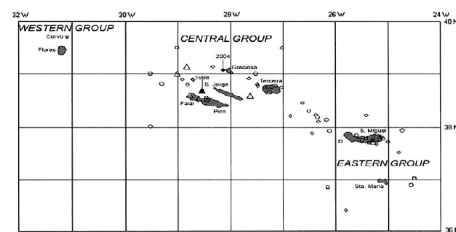
MACD: میانگین متحرک همگرا - واگرا (Moving Average Convergence - Divergence)،

MOM: مقدار حرکت و تغییرات داده ها نسبت به داده ابتدای دوره (Momentum)

Pattern: الگوی تغییرات تفاضلات مرتب 20 تائی داده ها در طی یک دوره زمانی

پس از اعمال هفت نوسانگر بیان شده بر زمان، مکان و شدت زمین لرزه های گذشته، مقادیر خروجی نوسانگر ها به لایه ورودی شبکه عصبی وارد می شود. شبکه عصبی استفاده شده در این تحقیق، یک شبکه عصبی پیشخور بوده است که در لایه ورودی آن از 21 نرون برای مقادیر حاصل از اعمال هفت نوسانگر بر زمان، مکان و شدت زلزله های گذشته، در لایه میانی از چهار نرون و در لایه خروجی از سه نرون استفاده شده است. تابع محرک استفاده شده در شبکه عصبی این تحقیق تابع زیگموید بوده است. در این بررسی از مقیاس شدت مرکالی اصلاح شده زلزله های قبلی بهره گرفته شده است. مقادیر شدت، زمان و مکان همگی به تعدادی گروه تقسیم گشته اند. به عنوان مثال مکان وقوع به سه ناحیه مرکزی، غربی و شرقی تقسیم شده است، شکل (3) الف. خروجی شبکه عصبی دسته زمانی، مکانی و شدت زلزله فرارو می باشد به این معنا که مشخص می گردد زلزله آتی در کدام یک از این دسته ها خواهد بود. نتیجه پیش بینی وی در شکل (3) ب آورده شده است. همان گونه که ملاحظه می گردد، پهنای پنجره های مکانی و زمانی به کارگرفته شده جهت پیش بینی زلزله بزرگ فرارو نسبتاً وسیع می باشد و شدت پیش بینی شده چندان از دقت بالایی برخوردار نیست.

Forecasts							
Time		MMI			Occurrences		
Min	Max	Min	Max	Location	Time	MMI	Location
Sep 1997	Jul 1998	VI	VII	Central Group	Jul 1998	VIII	Central Group
Aug 2003	Aug 2004	VI	VII	Central Group	Jan 2004	V	Central Group



شکل (3) ب: نتایج حاصل از پیش بینی آلوز، [10].

شکل (3) الف: گروه بندی مکانی زلزله های آزرورس، [10].

### 3-2- بررسی الگوی وقوع پس لرزه ها با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی

علامه زاده و مختاری، [11]، در سال 2003 با استفاده از شبکه های عصبی الگوی وقوع و تمرکز پس لرزه های زلزله بیرجند-قائن در سال 1997 و همچنین زلزله ی 1999 از میت ترکیه را بررسی کرده اند. این محققان در بررسی الگوی وقوع پس لرزه ها از یک شبکه ی عصبی خود سازمان ده بهره گرفته اند. لازم به ذکر است که معیار مقایسه و تشابه بین نرون ها و بردار ورودی در شبکه های خود سازمان ده می تواند موارد مختلفی باشد که فاصله ی اقلیدسی یکی از متداول ترین آنهاست که در این تحقیق نیز از آن استفاده شده است. این محققان، با برپایی شبکه ی لرزه نگاری موقت در منطقه بیرجند-قائن، در طی 6 هفته به ثبت و ارزیابی الگوی وقوع پس لرزه ها پرداختند. آنان دریافتند که پس لرزه ها عموماً در کلاسترهای مکانی مشخصی به وقوع می پیوندند. با در اختیار داشتن مجموعه پس لرزه های ثبت شده، طول و عرض جغرافیایی زلزله ها به شبکه SOFM معرفی گردید و کارائی شبکه عصبی مصنوعی جهت تشخیص مراکز تمرکز پس لرزه ها مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی عملکرد شبکه SOFM از دسته های داده ای با تعداد متفاوت زلزله استفاده گردید. به این لحاظ ابتدا با معرفی کلیه داده ها به شبکه به عنوان نتیجه شبکه، دسته ها یا کلاسترهای مختلفی از پس لرزه ها مشخص گردیده است. در ادامه همین روند با چهار زیر مجموعه متشکل از تعداد کمتری داده تکرار شده است. ترتیب این چهار مجموعه از تعداد داده کم به زیاد است. پس از این مراحل دسته بندی هائی که توسط شبکه ها انجام شده است با یکدیگر مقایسه شده است تا مشخص گردد که حداقل چه تعداد از داده های اصلی باید جهت تهیه مدل خوبی از دسته بندی واقعی توسط شبکه و شناسایی نقاط فعال در اختیار شبکه قرار گیرد.

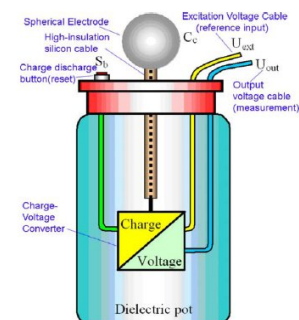
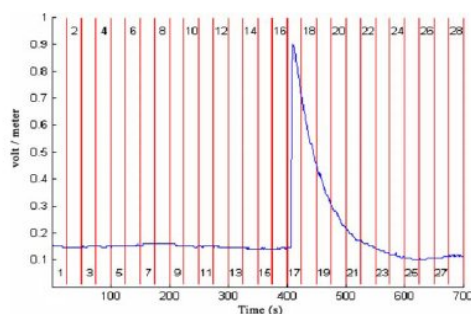
### 3-3- بررسی روند تغییرات در پارامترهای فیزیکی و آموزش شبکه در جهت پیش بینی وقوع زلزله از طریق

#### مطالعه روند تغییرات پدیده فیزیکی مورد نظر

در سال 2006، اوزردم و همکاران، [14]، با کمک شبکه عصبی مصنوعی از نوع SOM به دسته بندی الگوهای اغتشاشات میدان الکتریکی زمین و استفاده از این الگوها برای پیش بینی زمین لرزه پرداختند. دستگاه سنجشگر میدان الکتریکی زمین که توسط این محققان ساخته و به کارگرفته شده در شکل (4) الف ارائه شده است. با قراردادن این دستگاه ها در محدوده شمالی سیستم گسل آتاتولی که منشأ غالب زلزله های با بزرگای بیش از 4 ریشتر می باشد،

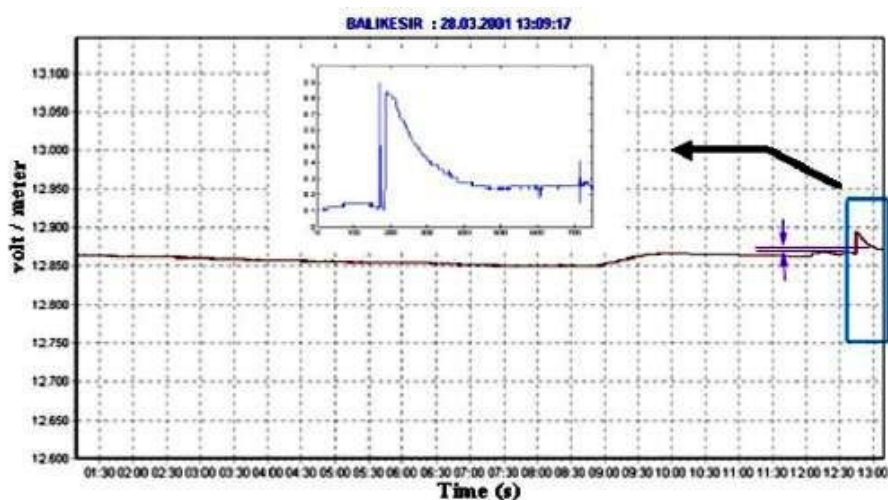


این محققان دریافته‌اند که بیش از 45 درصد زلزله‌هایی که در این منطقه رخ می‌دهد در پی اغتشاشاتی است که در میدان الکتریکی زمین اتفاق می‌افتد. برای تشخیص این موضوع که الگوی ثبت شده در هر محدوده زمانی یک پیش‌نشانه زلزله هست یا خیر، این محققین تصمیم به استفاده از شبکه‌های SOM جهت طبقه‌بندی و نیز تشخیص آشفته‌گی و اغتشاشات خاص در میدان الکتریکی گرفتند. به این منظور از شبکه SOM، با اندازه‌های  $5 \times 5$ ،  $10 \times 10$ ،  $15 \times 15$  و  $25 \times 25$  بهره‌گرفته شد. این محققان نمودار ثبت شده‌ی ایستگاه سنجش میدان الکتریکی اولوس در روز 22 مارس 2001 را جهت تأمین دسته‌داده‌ی آموزش و نیز تست شبکه SOM، به بازه‌های 25 داده‌ای تقسیم نمودند. شکل (4) ب، اطلاعات 700 داده از رکورد میدان الکتریکی زمین را در شهر اولوس نشان می‌دهد که برای آموزش شبکه از آن استفاده شده است. این مجموعه نیز به بازه‌های 25 داده‌ای تقسیم شده‌اند. اطلاعات هر 25 داده یک بردار ورودی برای شبکه فراهم می‌آورد. بردارهای 17، 18، 19 و 20 نشان‌دهنده یک الگوی متداول اغتشاشات میدان الکتریکی زمین پیش از وقوع زلزله در ترکیه می‌باشد.



شکل (4) ب: نمونه‌ای از انواع آشفته‌گی میدان الکتریکی زمین پیش از زلزله در ترکیه، [14].

شکل (4) الف: دستگاه سنجشگر میدان الکتریکی زمین [14].

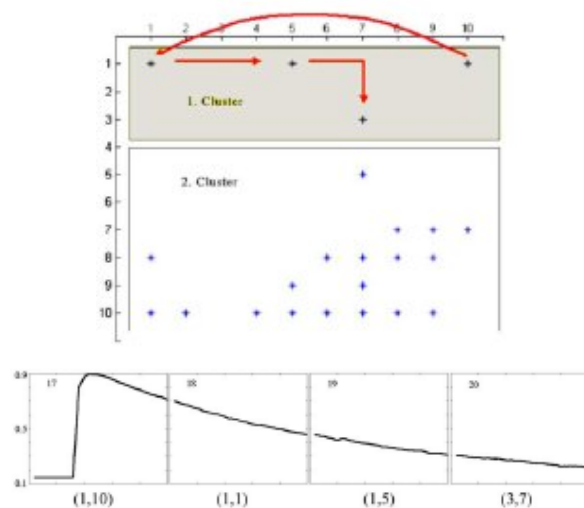


شکل (5): پنجره‌ای شامل 2000 داده از رکورد اولوس جهت تست شبکه، [14].

بازه دیگری از رکورد روز 22 مارس 2001 شهر اولوس به طول 2000 داده که 28 بردار 25 داده‌ای فوق‌الذکر را شامل می‌گردد، جهت تست شبکه استفاده گردید، شکل (5). روند تشخیص اغتشاشات میدان الکتریکی توسط شبکه SOM، که پیش‌نشانه زلزله می‌باشند به صورت زیر می‌باشد.

پس از آموزش شبکه توسط دسته‌داده‌ی 700 عددی، داده‌ی تست جهت طبقه‌بندی داده‌ها به دو دسته عادی و غیر عادی (اغتشاشات) به شبکه SOM معرفی می‌شوند. با توجه به فاصله اقلیدسی بین بردار ورودی و بردار وزن هر یک از نرون‌های شبکه، یکی از نرون‌های شبکه به عنوان برنده انتخاب می‌گردد و بردار ورودی به این نرون اختصاص

می یابد. نرون هایی که شامل بازه های تشکیل دهنده ی الگوی اغتشاش در رکورد میدان الکتریکی می باشند در یک کلاستر و سایر نرون ها در کلاستری دیگر واقع می شوند و در نمایش تصویری شبکه کلاستر های بوجود آمده قابل تشخیص و تفکیک می باشند. شکل (6)، کلاستر های نشان دهنده ی الگوی اغتشاش و الگوی میدان الکتریکی زمین را به نمایش می گذارد. در این شکل بردار های ترسیم شده نمایانگر چگونگی حرکت نرون ها در کلاستر طی مرحله تست و تشخیص الگوی اغتشاش از کلاستر مربوطه می باشد.



شکل (6): تشخیص کلاستر آشفته گی و منطقه ی عادی توسط شبکه SOM. [14]

#### 4- نتیجه گیری

به طور کلی با توجه به دینامیک پیچیده پدیده زلزله و مشکلات پیش بینی زلزله، شبکه های عصبی مصنوعی می توانند ابزار مناسبی جهت پیش بینی الگوی وقوع زلزله های آتی باشند. همانطور که ملاحظه گردید شبکه های عصبی خود سازمان ده جهت پیش بینی الگوی تمرکز و وقوع پس لرزه ها و همچنین تشخیص آشفته گی میدان الکتریکی زمین جهت پیش بینی کوتاه مدت زلزله به کار گرفته شده اند. همچنین با دانستن وضعیت لرزه خیزی منطقه در گذشته و با بهره گیری از شبکه های عصبی پیشخور می توان پیش بینی مناسبی از زمان زلزله های بزرگ فرارو ارائه نمود. لیکن برای انجام موفقیت آمیز و دقیق این مهم هنوز مشکلاتی در پیش رو می باشد. از آن جمله انتخاب بازه زمانی مناسب و مستقل از آخرین زلزله بزرگ رخ داده، جهت پیش بینی زلزله فرارو می باشد. مورد دیگر چگونگی اصلاح داده های کاتالوگ زلزله از حیث همگونی ثبت داده ها، تنوع دستگاه های اندازه گیری و تمرکز ایستگاه های اندازه گیری جهت ارائه به شبکه عصبی می باشد.

در ادامه تحقیقات انجام شده سعی در بهره گیری از ابزارهایی که برای پیش بینی سری های زمانی در دیگر علوم همانند اقتصاد به کار می روند و ترکیب آن ها با شبکه های عصبی، و استفاده از بزرگا به جای شدت زلزله، می تواند به بهبود روش آلوژ بیانجامد. همچنین با افزودن پیش نشانگرهای فیزیکی زلزله به سابقه لرزه خیزی منطقه و استفاده از هردو دسته پارامتر به عنوان ورودی شبکه عصبی می توان شبکه را طوری آموزش داد که قادر به پیش بینی هائی در هر دو دسته کوتاه مدت و میان مدت باشد.

#### مراجع

- [1] <http://www.farshavades.ir/public/moarefi-setad.html>
- [2] Geller, R. J.; *Earthquake Prediction: A Critical Review*, 1997, Geophysical Journal International, Vol. 131, pp. 425-450.
- [3] Wyss, M.; *Can Not Earthquakes Be Predicted?*, Science, Vol. 278, pp. 487-488.
- [4] Allen, C. R.; Edwards, W.; Hall, W. J.; Knopoff, L.; Raleigh, C. B.; Savit, C. H.; Toksoz, M.

- N.; and Turner, R. H.; *Predicting Earthquakes: A Scientific and Technical Evaluation-with Implications for Society*, 1997, Panel on Earthquake Prediction of the Committee on Seismology, Assembly of Mathematical and Physical Sciences, National Research Council, U.S. National Academy of Sciences, Washington D.C.
- [5] Kossobokov, V. G.; Romashkova, L. L.; Panza G. F.; Peresan A.; *Stabilizing Intermediate-Term Medium-Range Earthquake Prediction*, Fall 2002, Journal of Seismology and Earthquake Engineering, Vol.4, No's. 2 & 3, Tehran, I.R. Iran.
- [6] Rojas, R.; "*Neural Networks, A Systematic Introduction*", 1996, Springer, Germany.
- [7] Bodri B.; *A Neural-Network Model for Earthquake Occurrence*, 2001, Journal of Geodynamics, Vol. 32, pp. 289-310.
- [8] Wang, W.; Cao, X.; Song, X.; *Estimation of Earthquakes in Chinese Mainland by Using Artificial Neural Networks*, 2001, Chinese Journal of Earthquakes, Vol. 3, No. 21, pp. 10-14.
- [9] Liu, T.; Li, G.; Liu, Y.; Wu, G.; Wang, W.; *Estimation of the Future Earthquake Situation by Using Neural Networks Ensemble*, May 29-31, 2006, Proceedings of International Symposium on Neural Networks, (ISNN06), Chengdu, China.
- [10] Alvez, E. I.; *Earthquake Forecasting Using Neural Networks: Results and Future Work*, 2006, Nonlinear Dynamics, Vol. 44, pp. 341-349.
- [11] Allamehzadeh, M.; Mokhtari, M.; *Prediction of Aftershocks Distribution Using Self-Organizing Feature Maps (SOFM) and Its Application on the Birjand-Ghaen and Izmit Earthquakes*, 2003, Journal of Seismology and Earthquake Engineering, Vol. 5, No. 3, pp. 1-15, Tehran, I.R. Iran.
- [12] Allamehzadeh, M.; *Prediction of Aftershocks Pattern Distribution Using Self-Organizing Feature Maps*, 2004, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada August 1-6, Paper No. 198.
- [13] Rovithakis, G. A.; Vallianatos, F.; *A Neural Network Approach to the Identification of Electric Earthquake Precursors*, 2000, Phys. Chem. Earth (A), Vol. 25, No. 3, pp. 315- 319.
- [14] Ozerdem, M. S.; Ustundag, B.; Demirer, R. M.; *Self-Organized Maps Based Neural Networks for Detection of Possible Earthquake Precursory Electric Field Patterns*, 2006, Advances in Engineering Software, Vol. 37, pp. 207-217.
- [15] Habermann, R. E.; *Seismicity Rate Variations and Systematic Changes in Magnitudes in Telesismic Catalogs*, 1991, Tectonophysics, Vol. 193, pp. 277-290.