

## پیش‌یابی مکانی مرکز زلزله‌های درب‌آستانه (۲۰۰۶) و بندرعباس (۲۰۰۹) با استفاده از پیش‌لرزه‌ها به روش شبکه‌های عصبی مصنوعی

مهدی حیدری

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خمین، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران، خمین، ایران  
mahdi\_heidari7@yahoo.com

نسیم بنیادی

دانشجوی کارشناسی ارشد کنترل، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بروجرد، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی برق، بروجرد، ایران  
n.bonyadi@yahoo.com

کلید واژه‌ها: پیش‌یابی، پیش‌لرزه، شبکه عصبی پرسپترون، زلزله درب‌آستانه، زلزله بندرعباس

### چکیده

هدف این مطالعه، پیش‌یابی مکان جغرافیایی مرکز زلزله‌های درب‌آستانه بروجرد (۲۰۰۶) و بندرعباس (۲۰۰۹) با استفاده از پیش‌لرزه‌های رخ داده و به روش شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشد. تشخیص مکان دقیق مرکز زلزله اصلی پس از رخ دادن پیش‌لرزه‌ها می‌تواند برای کاهش تلفات و خسارات بسیار مفید باشد. در راستای این مطالعه کاتالوگ زمین‌لرزه‌های پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (IIEES) مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از اعمال حد حداکثر اختلاف جغرافیایی و حداکثر فاصله زمانی پیش‌لرزه‌ها از شوک اصلی، در مورد هریک از زلزله‌های مذکور، شبکه عصبی پرسپترون با معرفی طول و عرض جغرافیایی پیش‌لرزه‌ها و زلزله اصلی چهار زلزله مخرب رویداده روی گسل‌های اصلی منطقه به ترتیب به عنوان ورودی و خروجی، آموزش دیده و مکان زلزله‌های نهایی مدنظر این مطالعه توسط شبکه عصبی پیش‌یابی شده است. بنابراین با اینکه پیش‌یابی مکانی زلزله‌ها پیچیده است می‌توان با استفاده از الگوریتم گرادیان در شبکه عصبی پرسپترون ام ال پی و با کمک کاتالوگ زمین‌لرزه‌ها این سامانه پیچیده را شناسایی و مکان نسبتاً دقیق مرکز زلزله‌های آینده را با استفاده از پیش‌لرزه‌ها تخمین زد.

### مقدمه

بزرگترین زمین‌لرزه در یک گروه از زمین‌لرزه‌ها، شوک اصلی نام دارد. زمین‌لرزه‌های قبل از شوک اصلی، پیش‌لرزه و زمین‌لرزه‌های پس از شوک اصلی را پس‌لرزه می‌نامند. مطالعات جهانی در ارتباط با فعالیت پیش‌لرزه‌ها نشان می‌دهد که از سال ۱۹۵۰، از زمانی که شبکه لرزه‌نگاری جهانی به اندازه کافی ادراک‌پذیر شده است ۷۰-۶۰ درصد کل زمین‌لرزه‌های با بزرگای بیشتر از ۷ با پیش‌لرزه همراه بوده‌اند (Jones and Molnar, 1979). رخداد پیش‌لرزه‌ها در مواردی نظیر زمین‌لرزه هایچنگ چین در سال ۱۹۷۵ با بزرگای ۷.۵ ریشتر (Raleigh et al, 1977) منجر به پیش‌بینی موفق گردیده است.

بررسی بیش از ۹۰۰ زمین‌لرزه در جهان با بزرگای بیشتر از ۲.۲ ریشتر نشان داده است که پیش‌لرزه‌ها عموماً در شعاع ۱۰ کیلومتری از رومرکز شوک اصلی رخ می‌دهند. البته بررسی در یک ناحیه ثابت ممکن است سبب حذف تعدادی از پیش‌لرزه‌ها گردد، بویژه زمانی که لغزش اصلی در یک زمین‌لرزه بزرگ در فواصل متعددی از کانون زمین‌لرزه رخ می‌دهد. برای کاهش این خطا می‌توان پیش‌لرزه‌ها را در یک چارچوب به مرکزیت رومرکز شوک اصلی و طولی برابر با طول گسل مسبب شوک اصلی جستجو کرد (Felzer et al, 2004). در رابطه با فاصله زمانی میان رخداد پیش‌لرزه و شوک اصلی، نظریات متفاوت است. بررسی پیش‌لرزه‌های چین، میانگین فاصله زمانی ۳۰ روز را بین وقوع پیش‌لرزه‌ها و زمین‌لرزه‌های اصلی نشان می‌دهد (مبین و مختاری، ۱۳۸۷). لازم به ذکر است بیشترین پیش‌لرزه‌های مشاهده شده در چین در فاصله زمانی کمتر از ۱۰ روز از شوک اصلی رخ داده‌اند (Wang et al, 2004). در این مطالعه حداکثر اختلاف جغرافیایی پیش‌لرزه‌ها با زلزله‌های اصلی ۱.۵۵ می‌باشد که بسیار کمتر از طول گسل‌های اصلی مسبب زلزله می‌باشد و همچنین حداکثر فاصله زمانی پیش‌لرزه‌ها از زلزله اصلی ۶ روز می‌باشد.

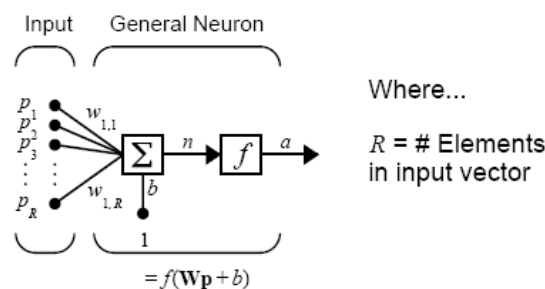


## مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر، از کاتالوگ زمین‌لرزه‌های پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (IIIES) استفاده شده است، بدین‌صورت که ابتدا داده‌های مناسب انتخاب و سپس جهت ورود به شبکه پرسپترون چندلایه اقدام به تشکیل ماتریس مربوطه گردید. ورودی‌های شبکه، طول و عرض جغرافیایی پیش‌لرزه‌ها و خروجی شبکه طول و عرض جغرافیایی زلزله اصلی است. پس از انتخاب داده‌های ورودی و خروجی شبکه و تعیین ساختار شبکه از لحاظ تابع محرک، تعداد نرون‌های لایه پنهان، تعداد لایه‌های پنهان، تعداد تکرار، مقادیر پارامترهای آموزشی و تابع عملکرد، آموزش شبکه با استفاده از هر یک از الگوریتم‌های آموزشی موجود در نرم‌افزار MATLAB ابتدا با یک نرون پنهان و ۱۰ تکرار شروع شده و با افزایش آن تا حداکثر تعداد نرون و تکرار ادامه یافت. همچنین در تمام مراحل فوق، پس از هر بار آموزش، شبکه آزمون گردید. تعداد بهینه نرون پنهان و تکرار در الگوریتم‌های آموزشی بر اساس بالاترین ضریب همبستگی و خطای کمتر از ۵ درصد مشخص گردید. با داشتن تعداد بهینه نرون پنهان و تکرار، می‌توان با استفاده از روش سعی و خطا نسبت به نوع تابع محرک، مقادیر پارامترهای آموزشی و تعداد لایه‌های پنهان تجدیدنظر نمود که در صورت عملکرد بهتر شبکه، آن شبکه به عنوان شبکه بهینه انتخاب و برنامه ذخیره و بارگذاری می‌گردد، در غیر این صورت الگوریتم آموزشی جهت استفاده در مراحل بعدی دیگری استفاده و همه مراحل بازتکرار می‌گردد تا شبکه به جواب مطلوب همگرا شود و اگر شبکه در هر الگوریتم آموزشی و با هر تعداد لایه و نرون پنهان و تکرار به جواب مورد نظر برسد، آن شبکه به عنوان شبکه بهینه انتخاب می‌شود.

## شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی ابزار ریاضی‌ای هستند که با تقلید از سیستم عصبی بیولوژیک ساخته شده‌اند (Fulop et al 1998)، تصحیح پذیری بالایی در انطباق خود با داده‌های موجود را دارند (Ranjithan et al, 1995) به گونه‌ای که قادرند به سازماندهی مجهز شده، نظم و هماهنگی موجود در داخل این داده‌ها را پیدا کنند (منهاج، ۱۳۸۴) و بر اساس بردارهای ورودی بزرگی یک پدیده را پیش‌بینی نمایند (Conrads and Roehle, 1999). در شکل ۱ یک نرون ساده با  $R$  ورودی نشان داده شده است. هر بردار ورودی با انتخاب مناسب وزن  $w$ ، وزن‌دار شده و جمع ورودی‌های وزن‌دار با بایاس، ورودی تابع محرک  $F$  را تشکیل می‌دهند. نرون‌ها قادرند از توابع محرک مختلفی برای تولید خروجی بهره ببرند. توابع لگاریتم سیگموئیدی، تانژانت سیگموئیدی و تابع محرک خطی متداولترین آنها محسوب می‌شوند (Demuth and Beale, 2000). ساختار عادی یک شبکه عصبی مصنوعی، معمولاً از لایه ورودی، لایه‌های میانی یا پنهان و لایه خروجی تشکیل شده است. لایه ورودی یک لایه انتقال دهنده و وسیله‌ای برای تهیه کردن داده‌هاست. لایه خروجی شامل مقادیر پیش‌بینی شده به وسیله شبکه است و لایه پنهان محل پردازش داده‌هاست. شمار لایه‌ها و شمار نرون‌ها در هر لایه پنهان، به طور معمول به وسیله روش آزمون و خطا مشخص می‌شود (اصغری مقدم و همکاران ۱۳۸۷).



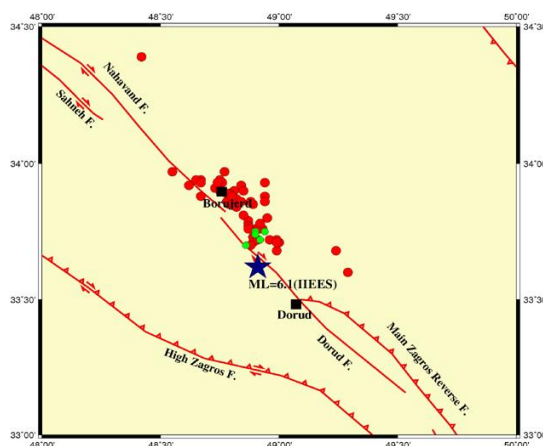
شکل ۱: مدل نرون در یک شبکه عصبی

## شبکه‌های پرسپترون چند لایه (MLP)

در سال‌های اخیر، انواع زیادی از شبکه‌های عصبی مصنوعی در زمینه‌ها و اهداف گوناگون علوم، به‌ویژه برای تخمین و پیش‌بینی پدیده‌ها طراحی و به کار گرفته شده‌اند. برای استفاده از شبکه‌های عصبی جهت حل مسائل، نیاز به انتخاب شبکه عصبی مناسب است. نوع یک شبکه عصبی توسط ساختار و آموزش آن مشخص می‌شود. انتخاب این شبکه به ماهیت مسئله مورد بررسی و نوع داده‌های آن وابسته است. در پژوهش حاضر شبکه عصبی باید قادر به نگهداری اطلاعات و دیده بانی‌های گذشته باشد. به همین دلیل و با توجه به توانایی‌های شبکه پرسپترون و قابلیت آموزش و یادگیری زیاد این نوع شبکه عصبی، از شبکه پرسپترون چندلایه پیشخور در پیش‌بینی داده‌ها استفاده می‌شود. در این پژوهش ۷۰ درصد داده‌های آماری برای آموزش شبکه و ۳۰ درصد داده‌ها برای آزمون شبکه به کار گرفته شده‌اند. ساختارهای مختلف شبکه پرسپترون از نظر پارامترهای آموزشی در محیط برنامه نویسی نرم‌افزار MATLAB با استفاده از الگوریتم‌های مناسب طراحی شدند و شبکه بهینه انتخاب و بارگذاری گردید.

## پیش‌یابی مکان مرکز زلزله درب آستانه (۲۰۰۶)

زلزله درب آستانه در تاریخ ۲۰۰۶/۰۳/۳۱ در ساعت ۴:۴۷ دقیقه بامداد در مختصات جغرافیایی ۴۸.۹۱ درجه شرقی و ۳۳.۶۵ درجه شمالی با بزرگای محلی ۶.۱ در نزدیکی راستای گسل اصلی جوان زاگرس با عمق کانونی ۱۴ کیلومتر رخ داد. شکل ۲ رومرکز و پیش‌لرزه‌ها (دوایر سبز) و پس‌لرزه‌های زلزله (دوایر قرمز) را که از سایت اینترنتی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله استخراج شده است را نشان می‌دهد. برای پیش‌یابی مکان مرکز زلزله مذکور از طول و عرض جغرافیایی پیش‌لرزه (۵ مورد) و زلزله اصلی ۴ زلزله مخرب رویداد در منطقه به عنوان ورودی شبکه عصبی پرسپترون استفاده شده است (جدولهای ۱-۴). مشخصات زلزله ۲۰۰۶ درب آستانه نیز در جدول ۵ آمده است.



شکل ۲: نقشه پهنه رومرکز زلزله درب آستانه ۲۰۰۶ به همراه پیش‌لرزه (دوایر سبز) و پس‌لرزه‌ها (دوایر قرمز) که از سایت اینترنتی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله ([www.iiees.ac.ir](http://www.iiees.ac.ir)) استخراج شده است.

جدول ۱: مشخصات زلزله شوستر (۲۰۰۴) به همراه پیش‌لرزه‌ها ([www.iiees.ac.ir](http://www.iiees.ac.ir))

شماره	تاریخ	زمان (UTC)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	بزرگا
۱	۲۰ نوامبر، ۲۰۰۴	۰۲:۱۰:۵۴	۳۱.۹۲	۴۸.۷۹	$M_L: 4.1$
۲	۲۰ نوامبر، ۲۰۰۴	۲:۲۷:۴۷	۳۱.۹۰	۴۸.۷۲	$M_L: 3.8$
۳	۲۰ نوامبر، ۲۰۰۴	۳:۵۰:۴۳	۳۱.۹۴	۴۸.۷۷	$M_L: 4$
۴	۲۰ نوامبر، ۲۰۰۴	۶:۵۳:۱۷	۳۱.۹۴	۴۸.۸۳	$M_L: 3.6$
۵	۲۰ نوامبر، ۲۰۰۴	۰۹:۰۳:۳۰	۳۱.۹۰	۴۸.۸۲	$M_L: 3.4$
۶	۲۰ نوامبر، ۲۰۰۴	۱۲:۰۶:۱۰	۳۱.۹۱	۴۸.۷۷	$M_L: 4.8$

جدول ۲: مشخصات زلزله پلدختر (۲۰۰۴) به همراه پیش‌لرزه‌ها ([www.iiees.ac.ir](http://www.iiees.ac.ir))

شماره	تاریخ	زمان (UTC)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	بزرگا
۱	۲۰ نوامبر، ۲۰۰۴	۱۶:۱۰:۱۷	۳۲.۰۴	۴۸.۸۸	$M_L: 3.7$
۲	۲۰ نوامبر، ۲۰۰۴	۲۲:۱۹:۱۲	۳۲.۰۱	۴۸.۷۷	$M_L: 3.1$
۳	۲۱ نوامبر، ۲۰۰۴	۰۵:۲۴:۲۷	۳۲.۱۷	۴۸.۷۸	$M_L: 2.9$
۴	۲۱ نوامبر، ۲۰۰۴	۱۴:۲۱:۳۰	۳۲.۱۰	۴۸.۹۰	$M_L: 2.5$
۵	۲۱ نوامبر، ۲۰۰۴	۲۱:۳۷:۲۲	۳۳.۳۴	۴۸.۰۱	$M_L: 4.6$
۶	۲۱ نوامبر، ۲۰۰۴	۲۱:۴۵:۳۶	۳۳.۳۴	۴۷.۹۸	$M_L: 4.8$

جدول ۳: مشخصات زلزله طبریزان (۲۰۰۵) به همراه پیش‌لرزه‌ها ([www.iiees.ac.ir](http://www.iiees.ac.ir))

شماره	تاریخ	زمان (UTC)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	بزرگا
۱	۰۱ می، ۲۰۰۵	۱۵:۲۹:۵۸	۳۲.۰۴	۴۸.۸۸	$M_L: 3.6$
۲	۰۱ می، ۲۰۰۵	۱۶:۰۵:۵۷	۳۲.۰۱	۴۸.۷۷	$M_L: 2.7$
۳	۰۱ می، ۲۰۰۵	۲۰:۰۴:۰۷	۳۲.۱۷	۴۸.۷۸	$M_L: 3$
۴	۰۱ می، ۲۰۰۵	۲۲:۰۱:۵۶	۳۲.۱۰	۴۸.۹۰	$M_L: 2.8$
۵	۰۲ می، ۲۰۰۵	۲۲:۳۱:۲۵	۳۳.۳۴	۴۸.۰۱	$M_L: 2.7$
۶	۰۳ می، ۲۰۰۵	۰۷:۲۱:۱۱	۳۳.۳۴	۴۷.۹۸	$M_L: 4.8$

جدول ۴: مشخصات زلزله مسجدسلیمان (۲۰۰۵) به همراه پیش‌لرزه‌ها ([www.iiees.ac.ir](http://www.iiees.ac.ir))

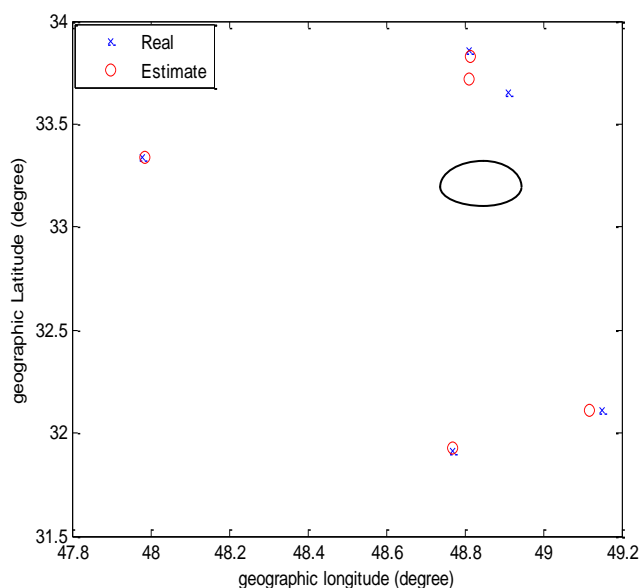
شماره	تاریخ	زمان (UTC)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	بزرگا
۱	۲۶ دسامبر، ۲۰۰۵	۰۰:۱۴:۰۱	۳۱.۵۶	۵۰.۰۱	$M_L: 3.8$
۲	۲۶ دسامبر، ۲۰۰۵	۰۰:۵۲:۳۶	۳۱.۵۰	۴۹.۹۴	$M_L: 3$
۳	۲۶ دسامبر، ۲۰۰۵	۰۴:۱۵:۲۷	۳۲.۳۱	۵۰.۳۲	$M_L: 3.3$
۴	۲۶ دسامبر، ۲۰۰۵	۰۴:۴۰:۰۵	۳۱.۷۴	۵۰.۰۷	$M_L: 3.7$
۵	۲۶ دسامبر، ۲۰۰۵	۰۴:۴۳:۰۶	۳۱.۵۳	۵۰.۰۳	$M_L: 3.5$
۶	۲۶ دسامبر، ۲۰۰۵	۲۳:۱۵:۵۱	۳۲.۱۱	۴۹.۱۵	$M_L: 5.2$

جدول ۵: مشخصات زلزله درب‌آستانه (۲۰۰۶) به همراه پیش‌لرزه‌ها ([www.iiees.ac.ir](http://www.iiees.ac.ir))

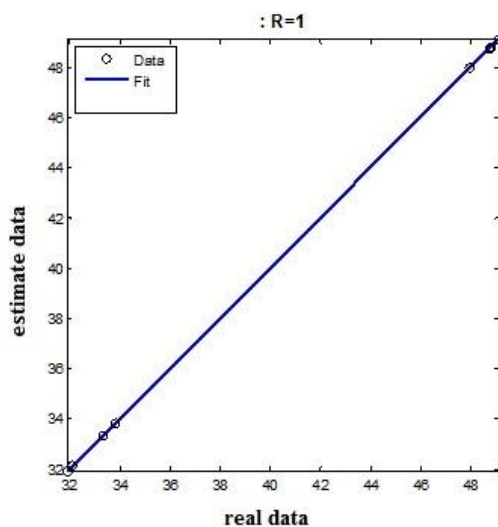
شماره	تاریخ	زمان (UTC)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	بزرگا
۱	۲۸ مارس، ۲۰۰۶	۱۲:۱۳:۴۶	۳۲.۲۴	۴۹.۱۷	$M_L: 3.5$
۲	۳۰ مارس، ۲۰۰۶	۱۶:۱۷:۰۶	۳۳.۷۴	۴۸.۹۲	$M_L: 4.5$
۳	۳۰ مارس، ۲۰۰۶	۱۹:۱۷:۰۲	۳۳.۷۴	۴۸.۹۰	$M_L: 2.7$
۴	۳۰ مارس، ۲۰۰۶	۱۹:۳۶:۱۸	۳۳.۶۹	۴۸.۹۱	$M_L: 5.1$
۵	۳۰ مارس، ۲۰۰۶	۲۲:۰۰:۲۸	۳۳.۷۴	۴۸.۹۴	$M_L: 3.1$
۶	۳۱ مارس، ۲۰۰۶	۰۱:۱۷:۰۲	۳۳.۶۵	۴۸.۹۱	$M_L: 6.1$

نتایج پیش‌یابی شده توسط شبکه عصبی و نتایج اصلی زلزله درب‌آستانه که با نرم‌افزار MATLAB شبیه‌سازی شده‌اند، در شکل ۳ با هم مقایسه شده است. نتایج حاکی از آن است که شبکه عصبی طول و عرض جغرافیایی مرکز زلزله درب‌آستانه را با ۰.۰۹۷ و ۰.۰۷۱ درجه جغرافیایی اختلاف پیش‌بینی کرده است.





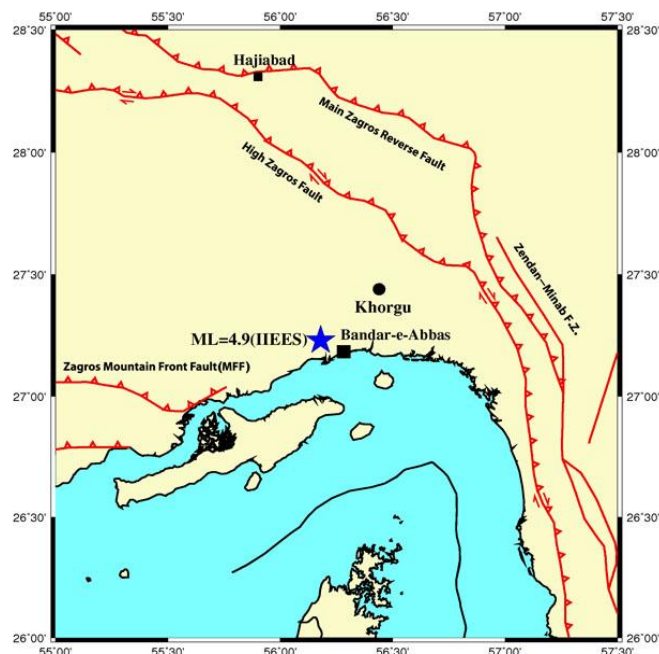
شکل ۳: مرکز زلزله واقعی و مرکز زلزله پیش‌یابی شده توسط شبکه عصبی برای زلزله درب‌آستانه در شکل نشان داده شده است (شبیه‌سازی شده به وسیله نرم‌افزار MATLAB)



شکل ۴: رگرسیون خطی بین داده‌های واقعی و تخمینی زلزله درب‌آستانه (شبیه‌سازی شده به وسیله نرم‌افزار MATLAB)

### پیش‌یابی مکان مرکز زلزله بندرعباس (۲۰۰۹)

زلزله بندرعباس در تاریخ ۲۰۰۹/۱۱/۳ در ساعت ۲۳:۲۶ دقیقه در مختصات جغرافیایی ۵۶.۱۹ درجه شرقی و ۲۷.۲۲ درجه شمالی با بزرگای محلی ۴.۹ در نزدیکی راستای گسل جبهه کوهستان با عمق کانونی ۱۳ کیلومتر رخ داد. شکل ۵ موقعیت مرکز سطحی این زلزله را که از سایت اینترنتی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله استخراج شده است نشان می‌دهد. برای پیش‌یابی مرکز زلزله مذکور از طول و عرض جغرافیایی پیش‌لرزه (۵ مورد) و زلزله اصلی ۴ زلزله مخرب رویداده در منطقه به عنوان ورودی شبکه عصبی پرسپترون استفاده شده است (جدولهای ۹-۶). مشخصات زلزله ۲۰۰۹ بندرعباس نیز در جدول ۱۰ آمده است.



شکل ۵: نقشه موقعیت مرکز سطحی زلزله بندرعباس که از سایت اینترنتی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله ([www.iiees.ac.ir](http://www.iiees.ac.ir)) استخراج شده است.

جدول ۶: مشخصات زلزله بندرعباس (۱۹۷۷) به همراه پیش‌لرزه‌ها ([www.iiees.ac.ir](http://www.iiees.ac.ir))

شماره	تاریخ	زمان (UTC)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	بزرگا
۱	۳۰ مارس، ۱۹۷۷	۰۸:۲۹:۱۶	۲۷.۶۴	۵۶.۵۵	$M_B: 4$
۲	۳۱ مارس، ۱۹۷۷	۱۰:۰۵:۵۹	۲۷.۵۸	۵۶.۵۲	$M_B: 4.7$
۳	۳۱ مارس، ۱۹۷۷	۱۳:۳۶:۴۵	۲۷.۵۴	۵۶.۵۴	$M_B: 4.7$
۴	۳۱ مارس، ۱۹۷۷	۱۹:۱۱:۱۹	۲۷.۵۴	۵۶.۲۶	$M_B: 4.8$
۵	۰۱ آوریل، ۱۹۷۷	۰۶:۵۹:۰۳	۲۷.۳۱	۵۶.۳۰	$M_B: 4.6$
۶	۰۱ آوریل، ۱۹۷۷	۱۳:۳۶:۲۴	۲۷.۵۵	۵۶.۲۸	$M_S: 6$

جدول ۷: مشخصات زلزله قشم (۲۰۰۶) به همراه پیش‌لرزه‌ها ([www.iiees.ac.ir](http://www.iiees.ac.ir))

شماره	تاریخ	زمان (UTC)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	بزرگا
۱	۲۷ می، ۲۰۰۶	۱۲:۱۱:۲۱	۲۷.۴۶	۵۵.۷۸	$M_L: 2.9$
۲	۲۸ می، ۲۰۰۶	۰۱:۱۱:۲۳	۲۷.۶۲	۵۵.۹۴	$M_L: 2.5$
۳	۲۹ می، ۲۰۰۶	۰۳:۲۸:۱۲	۲۷.۵۷	۵۶.۰۶	$M_L: 3.1$
۴	۰۱ ژوئن، ۲۰۰۶	۰۲:۱۶:۵۸	۲۷.۶۰	۵۵.۸۹	$M_L: 3.5$
۵	۰۱ ژوئن، ۲۰۰۶	۱۸:۰۳:۵۱	۲۷.۲۵	۵۵.۸۰	$M_L: 3.3$
۶	۰۳ ژوئن، ۲۰۰۶	۰۷:۱۵:۳۶	۲۶.۹۱	۵۵.۹۱	$M_L: 5.1$

جدول ۸: مشخصات زلزله بندرعباس (۲۰۰۶) به همراه پیش‌لرزه‌ها ([www.iiees.ac.ir](http://www.iiees.ac.ir))

شماره	تاریخ	زمان (UTC)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	بزرگا
۱	۲۱ مارس، ۲۰۰۶	۱۴:۰۷:۴۷	۲۷.۵۲	۵۶.۵۱	$M_L: 3.3$
۲	۲۱ مارس، ۲۰۰۶	۱۷:۱۲:۱۱	۲۷.۵۹	۵۶.۶۳	$M_L: 3$
۳	۲۲ مارس، ۲۰۰۶	۲۳:۱۱:۳۴	۲۷.۹۷	۵۶.۹۶	$M_L: 3.1$
۴	۲۳ مارس، ۲۰۰۶	۱۶:۵۱:۱۱	۲۷.۹۵	۵۶.۸۰	$M_L: 3.1$
۵	۲۴ مارس، ۲۰۰۶	۲۲:۳۳:۵۱	۲۷.۷۷	۵۵.۷۰	$M_L: 3.1$
۶	۲۵ مارس، ۲۰۰۶	۰۷:۲۸:۵۷	۲۷.۵۷	۵۵.۸۷	$M_L: 5.5$

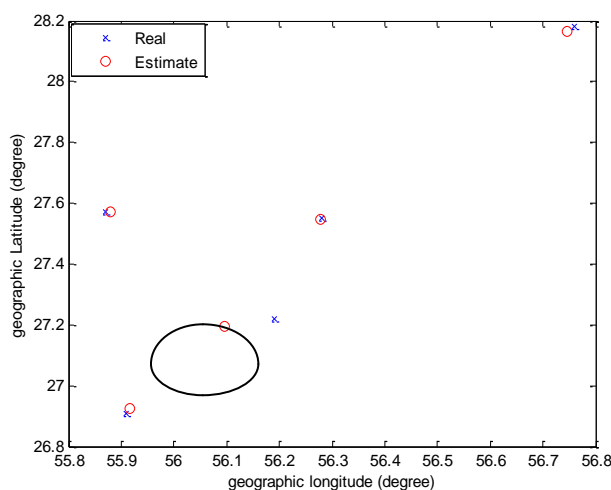
جدول ۹: مشخصات زلزله حاجی‌آباد (۲۰۰۶) به همراه پیش‌لرزه‌ها ([www.iiees.ac.ir](http://www.iiees.ac.ir))

شماره	تاریخ	زمان (UTC)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	بزرگا
۱	۲۲ فوریه، ۲۰۰۶	۱۲:۴۹:۰۸	۲۷.۵۹	۵۶.۱۳	$M_L: 2.8$
۲	۲۲ فوریه، ۲۰۰۶	۱۴:۰۴:۰۰	۲۷.۶۰	۵۵.۹۱	$M_L: 2.7$
۳	۲۳ فوریه، ۲۰۰۶	۱۳:۳۸:۱۶	۲۷.۵۹	۵۶.۲۰	$M_L: 3.2$
۴	۲۳ فوریه، ۲۰۰۶	۱۵:۲۵:۰۸	۲۷.۶۲	۵۶.۰۸	$M_L: 3$
۵	۲۳ فوریه، ۲۰۰۶	۲۰:۳۶:۰۵	۲۷.۸۸	۵۶.۶۷	$M_L: 3$
۶	۲۸ فوریه، ۲۰۰۶	۰۷:۳۱:۰۳	۲۸.۱۸	۵۶.۷۶	$M_S: 5.9$

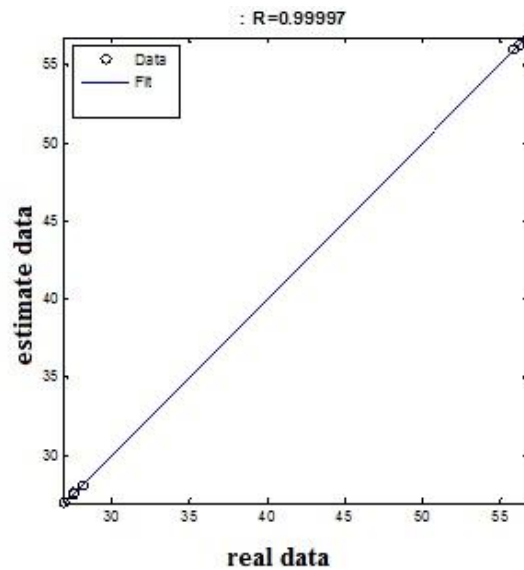
جدول ۱۰: مشخصات زلزله بندرعباس (۲۰۰۹) به همراه پیش‌لرزه‌ها ([www.iiees.ac.ir](http://www.iiees.ac.ir))

شماره	تاریخ	زمان (UTC)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	بزرگا
۱	۲۸ اکتبر، ۲۰۰۹	۰۸:۴۵:۵۲	۲۸.۷۶	۵۶.۷۶	$M_L: 3.3$
۲	۲۹ اکتبر، ۲۰۰۹	۰۶:۲۱:۱۲	۲۸.۵۰	۵۷.۴۳	$M_L: 3.6$
۳	۲۹ اکتبر، ۲۰۰۹	۰۶:۳۴:۳۱	۲۸.۴۹	۵۷.۵۴	$M_L: 3$
۴	۰۱ نوامبر، ۲۰۰۹	۱۳:۳۴:۲۹	۲۷.۰۷	۵۵.۹۸	$M_L: 3$
۵	۰۳ نوامبر، ۲۰۰۹	۲۰:۴۱:۰۶	۲۷.۹۱	۵۶.۶۳	$M_L: 2.9$
۶	۰۳ نوامبر، ۲۰۰۹	۲۳:۲۶:۵۰	۲۷.۲۲	۵۶.۱۹	$M_L: 4.9$

نتایج پیش‌یابی شده توسط شبکه عصبی و نتایج اصلی زلزله بندرعباس که با نرم‌افزار MATLAB شبیه‌سازی شده‌اند، در شکل ۶ با هم مقایسه شده است. نتایج حاکی از آن است که شبکه عصبی طول و عرض جغرافیایی مرکز زلزله بندرعباس را با ۰.۰۹۵ و ۰.۰۲۶ درجه جغرافیایی اختلاف پیش‌بینی کرده است.



شکل ۶: مرکز زلزله واقعی و مرکز زلزله پیش‌یابی شده توسط شبکه عصبی برای زلزله بندرعباس در شکل نشان داده شده است (شبیه‌سازی شده به وسیله نرم‌افزار MATLAB).



شکل ۷: رگرسیون خطی بین داده‌های واقعی و تخمینی زلزله بندرعباس (شبیه‌سازی شده به وسیله نرم‌افزار MATLAB)

## نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از روش آزمون و خطا از شبکه عصبی پرسپترون با ۳ لایه پنهان استفاده شده است که به ترتیب در هر لایه از ۶، ۷ و ۷ نرون و توابع تحریک شعاعی، لگاریتم سیگموئیدی، مثلثی و در لایه خروجی از تابع تانژانت سیگموئیدی استفاده شده است. شبکه با ۷۳ بار تکرار و بیشترین خطای ۰.۱۲ درجه جغرافیایی و کمترین ضریب رگرسیون ۰.۹۹ همگرا شده است. در انتخاب مناسب‌ترین الگوریتم نیز با بررسی‌های به عمل آمده، الگوریتم پس‌انتشار گرادیان نزولی با نرخ یادگیری تطبیقی<sup>۱</sup>، در میان سایر الگوریتم‌ها، در مرحله آموزش، بالاترین همبستگی و در مرحله آزمون، کمترین خطا را داشت، لذا بهتر از دیگر الگوریتم‌ها شناخته شد. دارا بودن بهترین عملکرد، بالاترین ضریب همبستگی و کمترین تعداد نرون در لایه پنهان از دلایل انتخاب این الگوریتم بود. این پژوهش مرکز رخداد زلزله‌های درب‌آستانه (۲۰۰۶) و بندرعباس (۲۰۰۹) را با ۰.۱۲ و ۰.۱۱۸ درجه جغرافیایی اختلاف پیش‌یابی کرده است. بنابراین با اینکه پیش‌یابی مکانی زلزله‌ها پیچیده است، می‌توان با استفاده از الگوریتم گرادیان در شبکه عصبی پرسپترون ام ال پی و با کمک کاتالوگ زمین‌لرزه‌ها این سامانه پیچیده را شناسایی و مکان نسبتاً دقیق مرکز زلزله‌های آینده را با استفاده از پیش‌لرزه‌ها تخمین زد.

## فهرست مراجع

اصغری مقدم، ا. نورانی و و ندیری ع (۱۳۸۶) مدل‌سازی بارش دشت تبریز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، مجله دانش کشاورزی، جلد ۱۸، شماره ۱، صفحات ۱۵-۱

مبین پ و مختاری م (۱۳۸۷)، بررسی پیش‌لرزه‌ها به منظور مطالعه لرزه‌خیزی در منطقه دورود- بروجرد، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

منهاج م، (۱۳۸۴)، مبانی شبکه‌های عصبی، مرکز انتشارات دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران، صفحه ۷۱۲

<sup>1</sup> - gradient descent with adaptive learning rate backpropagation algorithm





Conrads PA and Roehle EA, (1999) Comparing Physics- Based and Neural Network Mo Simulating Salinity, Temperature and Dissolved in a Complex, Tidally Affected River Basin, *Proceeding of the South Carolina Environmental Conference*, pp 1-15

Demuth H and Beale M (2000) Neural Network Toolbox User's Guide, Copyright 1992-2002, BT The Math Works, Inc, Version 4, 840P

Felzer KR, Abercrombie RE, and Ekstrom G (2004) A common origin of aftershocks, foreshocks, and multiplets, *Bull, Seismo, Soc Am*, 94(1), 88-98

Fulop IA, Jozsa J and Karamer T (1998) a neural network application in estimating wind induced shallow lake motion, *Hydro informatics* 98, 2, pp 753-757

Jones LM and Molnar P (1979) some characteristics of foreshocks and their possible relationship to earthquake prediction and premonitory slip on fault, *J, Geophys, Res*, 84, 3596-3608

Martin T Hagan, Howard B Dcmuth, Mark Beal,(1996) Neural network design, pp 4-1 :4-35

Ranjithan J, Eheart J and Garrett JH (1995) Application of neural network in groundwater remediation under condition of uncertainty, *New Uncertainty concepsion Hydrology and Water Resources*, pp133-140

Raleigh CB et al (1977) Prediction of the Haicheng earthquake, *Eos* 58, 236-272

Smith E (1981) Foreshocks of shallow New-Zealand earthquakes, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 24, 579-584

Wang L-Y, Chen P-Y and Wu Zh-L (2004) Characteristics of foreshock and its identification, *ACTA-Seismological Sinica*, 18(2), 180-18