

بررسی و کاربرد داده کاوی در پیش بینی وقوع زلزله

موسی نظری^۱، کمیل ایمانی^۲، بهروز شکری فومشی^۳

^۱ استادیار، گروه کامپیوتر، موسسه آموزش عالی روزبهان ساری، مازندران، ایران

^۲ کارشناس ارشد، گروه کامپیوتر، موسسه آموزش عالی روزبهان ساری، مازندران، ایران

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه کامپیوتر، موسسه آموزش عالی صالحان قائمشهر، مازندران، ایران (نویسنده مسئول)

چکیده

پیش بینی زلزله یک مشکل بسیار مهم در زلزله شناسی می باشد که موفقیت آن بصورت بالقوه می تواند جان بسیاری از انسان ها را نجات دهد. انواع مختلفی از فناوری ها برای رفع این مشکل پیشنهاد شده اند، مانند تحلیل ریاضی، الگوریتم های یادگیری ماشین مانند درخت تصمیم و ماشین های بردار پشتیبان و یا مطالعه سیگنال های پیش ساز. متأسفانه به دلیل ماهیت به ظاهر پویا و غیرقابل پیش بینی زمین لرزه معمولاً نتایج خوبی حاصل نمی شود. زمین لرزه ها به دلیل حرکت پوسته زمین از نظر مکانی و زمانی همبستگی دارند. بر همین اساس تلاش شد بهترین مدل های داده کاوی رایج را که قادر به درک این همبستگی بهتر از بقیه مدل ها هستند پیدا گردد. در این پژوهش تلاش شده توانمندی داده کاوی در این حوزه خاص مورد ارزیابی و تحلیل قرار گیرد. نتایج نشان داد در این پژوهش شدت زلزله با دقت خوبی پیش بینی شد که البته مدل پژوهش در زمانی که شدت زلزله به بالای ۶ ریشتر می رسید از پیش بینی ناتوان بود و برای زلزله های زیر ۳ ریشتر نیز نمی توانست نتایج خوبی ارائه کند ولی برای شدت های بین ۳ الی ۶ ریشتر تقریباً با دقت خوبی توانست پیش بینی انجام دهد. پس نتیجه گیری شد که داده کاوی ابزاری توانمند در پیش بینی میزان شدت زلزله می باشد. بهترین نتیجه ای که حاصل شد با دقت ۱۴ درصد توانست طول و عرض جغرافیایی را پیش بینی نماید.

واژه های کلیدی: زمین لرزه، بلایای طبیعی، داده کاوی، یادگیری ماشین

مقدمه

زمین لرزه یکی از خطرناک ترین و کم قابل پیش بینی ترین بلایای طبیعی حال حاضر دنیا می باشد [۲] [۱]. وقوع زلزله های فاجعه بار منجر به وقوع تلفات جانی، خسارات هنگفت به زیر ساخت ها می شود. شکست جوامع در یک لحظه و سقوط ناگهانی اقتصاد کشور از پیامدهای زلزله های شدید می باشد [۴] [۳] عوامل بسیاری مانند فاکتورهای جغرافیایی، حرکت زمین، بارندگی شدید، مواد بستر سنگ، تکنوتیک منطقه و ارتفاع و بسیاری عوامل دیگر در وقوع این پدیده طبیعی موثر می باشند [۵]. بسیاری از محققان ادعا کرده اند که با مشاهده پیش سازهای متعدد مانند ثبت رفتار، زلزله را پیش بینی می کنند مانند حیوانات، مشاهده افزایش دما، انتشار گاز رادون و مشاهده تغییر در الگوهای لرزه خیزی منطقه و غیره [۷] [۶].

برای پیش بینی زمین لرزه به روش آماری از اطلاعاتی که مربوط به رخداد زمین لرزه یا رصد تغییرات ژئوفیزیک (مربوط به تغییر شکل سطح پوسته زمین) است، استفاده می شود تا سرانجام بر اساس روش های احتمالی به الگوهای مشابه پیش بینی وضع آب و هوا برسیم و شاید بتوان ادعا کرد در یک بازه زمانی طولانی مدت (دو تا پنج سال) یا کوتاه مدت (چند ماه تا چند هفته) با درجه مشخصی از احتمال (مثلاً احتمال ۵۰ درصد) درجه ای از رخداد مثلاً زمین لرزه ای با بزرگی ۷ / ۵ ریشتر در محدوده ای از مکان مانند منطقه جنوب البرز به مرکزیت تهران به شعاع ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلومتر زمین لرزه ای اتفاق می افتد. در این دسته پیش بینی ها محدوده زمانی، مکانی، بزرگی و احتمال مطرح می شود. برای چنین پیش بینی هایی می توان از روش هایی چون M8، CN و PI استفاده کرد.

در پژوهشی از مدل ES مبتنی بر قوانین فازی برای برخی از زلزله ها با ارزیابی بر اساس روش آماری مولچان با استفاده از داده های آماری ایران انجام شد. یکی از پژوهش هایی که در این حوزه صورت گرفته است اختلالات یونوسفر می باشد [۸] در این پژوهش آنها از روش گرادیان مبتنی بر منطق فازی برای ایجاد منطق برای پیش بینی پارامترهای تغییر یونوسفر پیشنهاد شده است. رضایت تقریبی این روش توسط نگارندگان تایید شده است. تحقیقات دیگری که در این حوزه صورت پذیرفت بررسی طوفانهای ژئومغناطیس در عرض جغرافیایی پایین بود که بر این اساس محققان ادعا کردند که می توانند زلزله را پیش بینی کنند [۱]. سیستم های خبره بر مبنای قاعده های اعتقادی نیز در حوزه پیش بینی زلزله مورد استفاده قرار گرفته است [۹]. در این تحقیقات از عدم قطعیت رفتار حیوانات خاص در پاسخ به محیط و تغییرات شیمیایی برای پیش بینی زلزله مورد استفاده قرار گرفته است. تحقیقات گسترده دیگری نیز بر اساس داده های تاریخی زلزله صورت گرفته است که در بین داده های تاریخی به دنبال منطق جستجو می کنند تا بتوانند زلزله های آینده را پیش بینی کنند [۱۰].

از سیستم های خبره فازی عصبی (NFES) در بسیاری از پژوهش های برای پیش بینی زلزله مورد استفاده قرار گرفته شده است [۱۱]. از قطعه بندی شبکه ترکیبی، خوشه بندی تفریقی برای توسعه مدل هایی با این ساختار استفاده می شود. برای مثال در پژوهشی از این دست از حساسیت لغزشی زمین با استفاده از شاخص های آماری بر اساس داده های جغرافیایی برای پیش بینی زلزله استفاده شده است [۱۲] در این تحقیق از ۶ پارامتر مختلف برای اندازه گیری حساسیت زمین و زلزله مورد استفاده قرار گرفته است. این پژوهش ها کماکان ادامه دارد و در آخرین های آنها از ویژگی های زلزله از قبیل بزرگی، عمق، طول و عرض جغرافیایی برای محاسبه تاریخ زلزله های آینده مورد استفاده قرار می گیرد [۱۳].

داده کاوی مجموعه ای از روش های خاص را نشان می دهد و الگوریتم هایی را با هدف استخراج دانش از داده های خام انجام می دهد [۱۴]. یادگیری ماشین به دلیل توانمندی بالا بطور گسترده برای پیش بینی زلزله مورد استفاده قرار گرفته است. داده کاوی می تواند با حجم عظیم داده های زلزله ارتباط برقرار کرده و دست به پیش بینی بزند، تجربه ثابت کرده این روش در بهبود کارایی و دقت پیش بینی زلزله هستند. برای این منظور از روش های ANN, SVM, KNN, NB برای پیش بینی زلزله در منطقه قبرس مورد استفاده قرار گرفته شده است [۱۵]. در پژوهشی دیگر که در بر اساس داده های زلزله نگاری هندوستان انجام شد از روشهای KNN, RF, NB، تلاش کردند زمان وقوع زلزله بعدی را پیش بینی کنند [۱۶]. در پژوهشی دیگر که آن نیز در هندوستان انجام گرفت ناهنجاری های حرارتی را که قبل از وقوع زمین لرزه در منطقه ایمفال هند در سال ۲۰۱۶ رخ داد مورد بررسی قرار گرفته است آن ها این کار را با استفاده از ماهواره انجام دادند. آنها داده ها را به الگوریتم های یادگیری ماشین عرضه کردند تا بتوانند زلزله را پیش بینی کنند [۱۷]. در ایران نیز بررسی هایی بر روی پس لرزه های زلزله کرمانشاه را جمع آوری و مورد بررسی قرار دادند. الگوریتم های مختلفی مانند ML و جنگل تصادفی برای پیش بینی زلزله با مشاهده الگوهای پس لرزه انجام شده است [۱۸]. تحقیقات دیگری نیز در این حوزه با استفاده از لغزش های زمین در عمق کم در پیش بینی زلزله بکار گرفته شد [۱۹]. در پژوهشی دیگر با بررسی الگوی سیگنال های کاذب با استفاده از یادگیری ماشین تلاش شده تا از هشدارهای کاذب کاسته شود [۲۰]. در مرجع پژوهشی دیگری از تغییرات هیدرولوژیکی برای پیش بینی زلزله استفاده شده است و آنرا مورد بحث و بررسی قرار داده است [۲۱].

هواشناسان، زمین شناسان، دانشمندان محیط زیست، دانشمندان علوم کامپیوتر و دانشمندان رشته های مختلف دیگر تلاش های هماهنگ زیادی را برای پیش بینی زمان، مکان و شدت بلایای طبیعی انجام داده اند. جدای از مدل های پیشرفته پیش بینی های ابداع شده بوسیله دانشمندان و محققان مدل های داده کاوی برای این منظور مورد استفاده قرار گرفته اند. داده های متنوعی بطور منظم توسط ماهواره ها، حسگر های بیسیم و از راه دور، ادارات هواشناسی و زمین شناسی، سازمان های غیر دولتی، سایر نهاد های بین المللی، دولتی و خصوصی قبل، حین و پس از فاجعه جمع آوری می شوند. این حجم عظیم داده منبع بسیار مناسبی برای انجام عملیات داده کاوی می باشند [۲۲]. با توجه به مطالب ذکر شده هدف از پژوهش حاضر بررسی و کاربرد داده کاوی در پیش بینی وقوع زلزله می باشد.

روش تحقیق

مجموعه داده های این پژوهش بصورت مستقیم از داده های ۲۴۰۰۹ زلزله رخ داده و ثبت شده کشور ترکیه از سال ۱۹۶۷ تا سال ۲۰۲۰ را شامل می شود استفاده شده است. در ابتدا تلاش شد داده های متنی موجود در دیتاست تبدیل به داده هایی شود که قابل تبدیل شدن به داده های عددی عضو یک ماتریس شوند تا بتوانیم الگوریتم های داده کاوی را بر روی آنها پیاده سازی گردد. در مرحله اول با توجه به اینکه داده های حدود ۶۰ سال زلزله ترکیه را در اختیار بود و شهرهای مختلف وقوع زلزله با متن نمایش داده شده بود. برای درک بهتر ماتریس توسط متلب نام شهرها را در مرحله اول از جدول پاک کرده و به هر شهر یک عدد اختصاص داده شد.

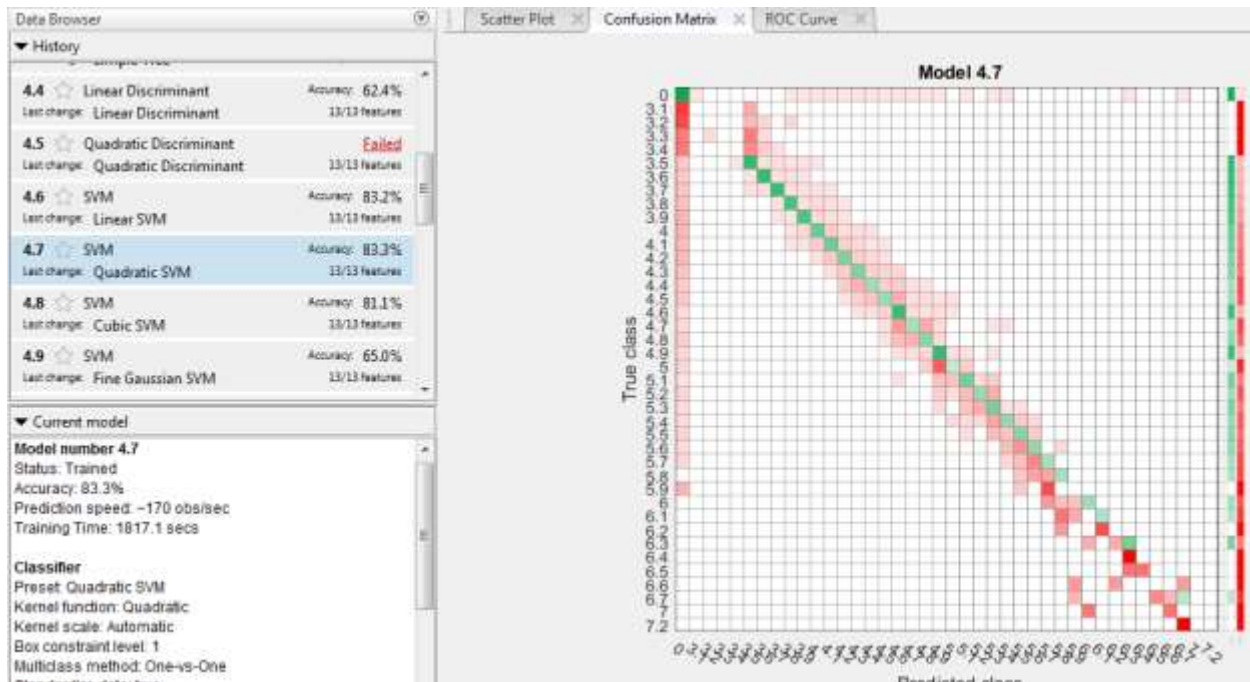
در مرحله دوم منطقه واقع شده در شهر و یا نام آن منطقه وقوع زلزله بود که برای هر کدام از مناطق عدد خاص تخصیص داده شد. تقریباً برای حدود ۷۰ شهر ترکیه در جدول عدد اختصاص داده شد و تمامی نام ها پاک گردید. در مرحله سوم تاریخ روز و ماه و سال وقوع زلزله را به ۳ ستون روز، ماه و سال تفکیک شد. این عمل را بر روی ۲۲۰۰۰ رکورد انجام شد. در مرحله سوم رکوردها دارای مقادیر خالی هستند در برخی از رکوردها تمامی رکوردهای ناقص در حدود ۸۰۰۰ رکورد را پاک شد. بعد از انجام عملیات های بالا و تبدیل تمامی پارامترهای حرف و متن به عدد داده ها را برای پردازش و داده کاوی وارد نرم افزار متلب شد. جهت اطمینان از انتخاب بهترین الگو و مدل داده کاوی حدود ۲۴ مدل را بر روی داده ها برای تولید دانش در هر مرحله پیاده سازی گردید که این خود حجم زیادی از پردازش را مورد استفاده قرار داد.

یافته‌ها

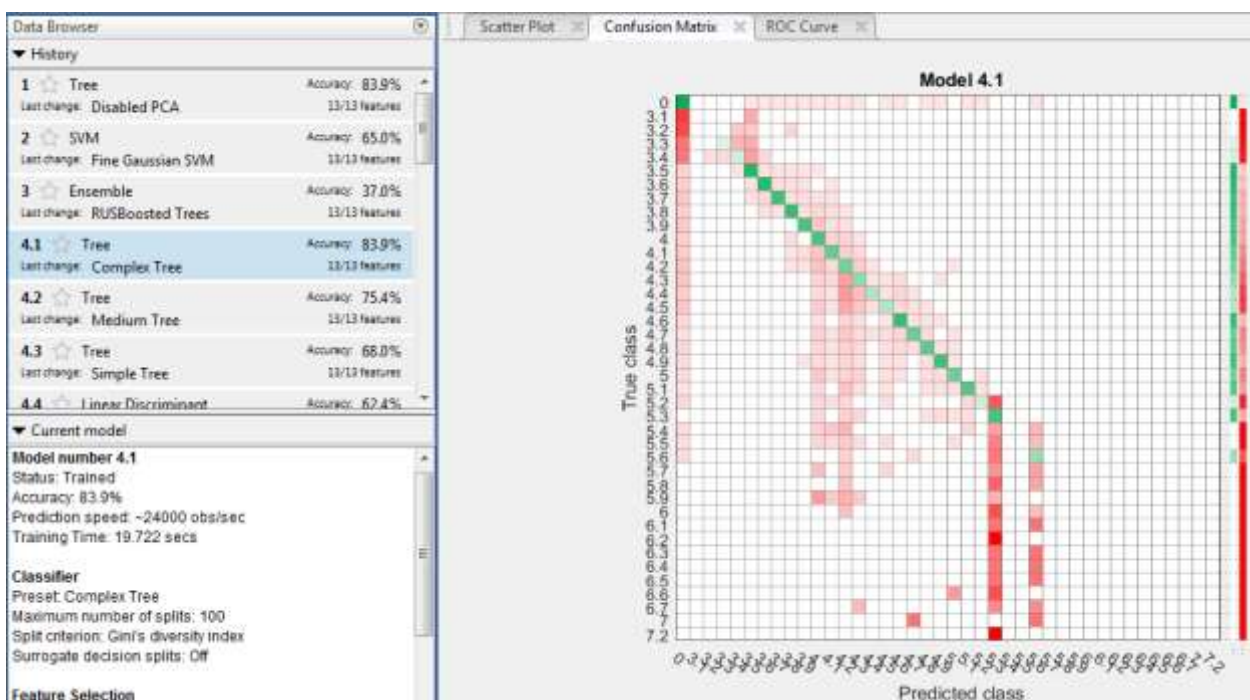
هدف از پژوهش حاضر بررسی و کاربرد داده کاوی در پیش بینی وقوع زلزله می باشد. تحلیل نتایج مدلهای داده کاوی برای تشخیص شدت زلزله در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۱: میزان دقت مدلهای انتخابی برای پیش بینی شدت وقوع زلزله

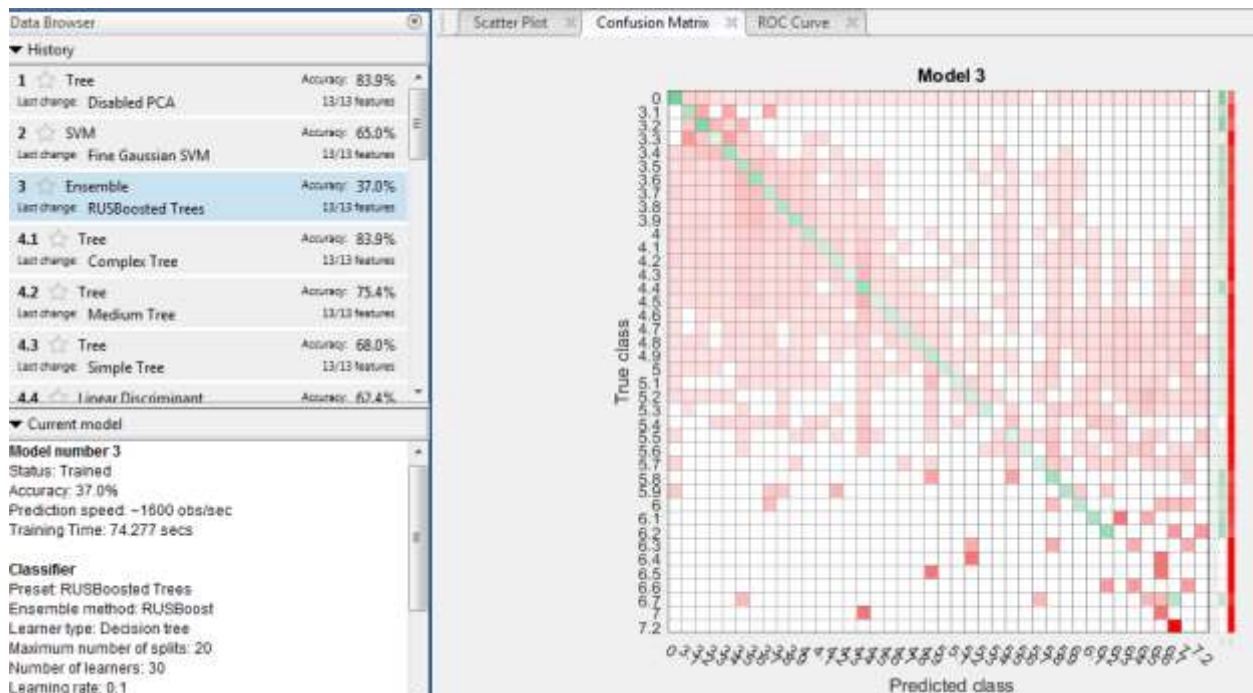
ردیف	نام مدل داده کاوی	accuracy
۱	Complex tree	۸۳.۹٪
۲	Rusboosted tree	۳۱.۶٪
۳	Subspace knn	۶۵٪
۴	Ensemble	۸۶.۳٪
۵	Weighted KNN	۶۷.۲٪
۶	Medium svm	۸۱.۷٪
۷	Quadratic svm	۸۳.۳٪



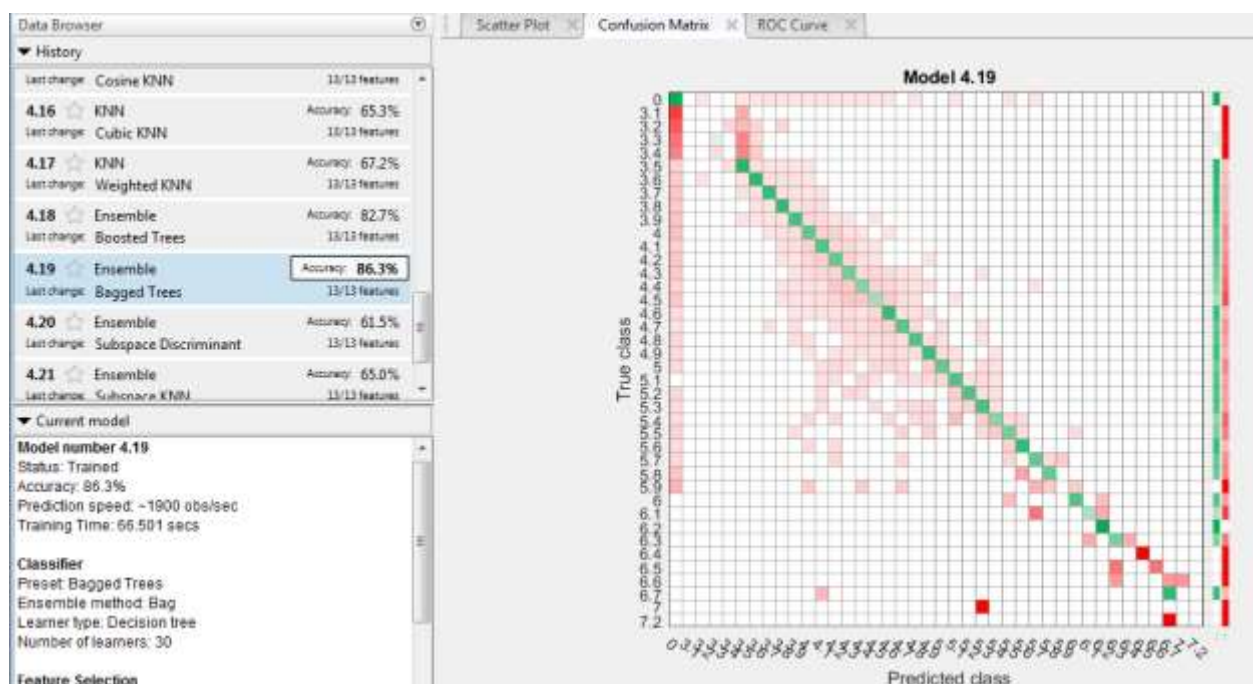
شکل ۱: عملکرد مدل SVM



شکل ۲- عملکرد مدل درخت تصمیم

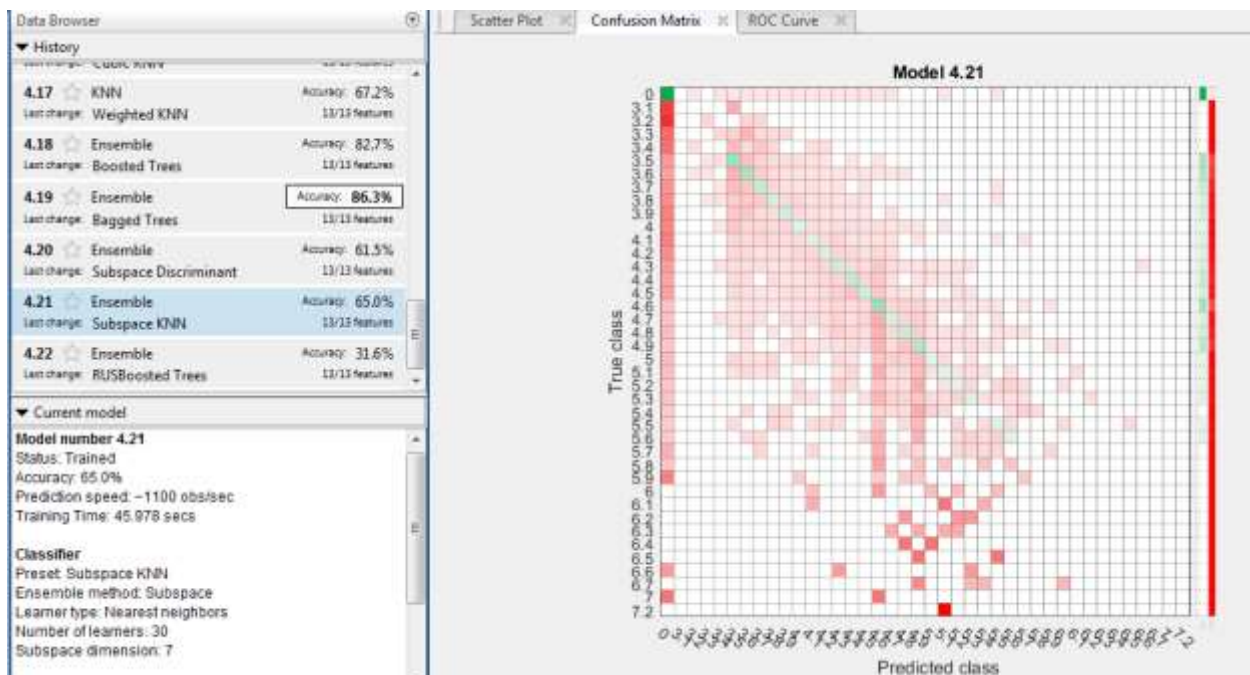


شکل ۳- عملکرد زیر مجموعه های مدل Ensemble



شکل ۴- عملکرد زیر مجموعه های مدل ensemble

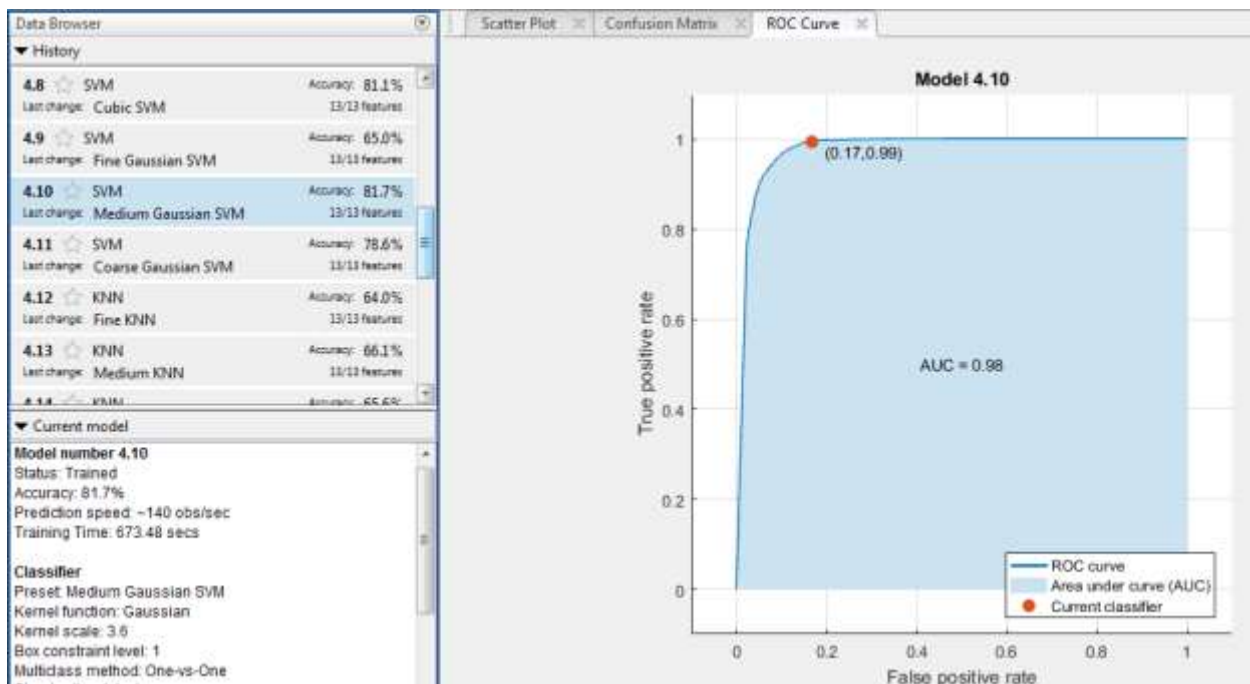
همان طور که در شکل مشاهده می شود مدل ensemble با توجه به تصویر از دقت مطلوبی در شدت زلزله فی مابین ۳,۴ ریشتر الی ۶,۴ ریشتر برخوردار می باشد.



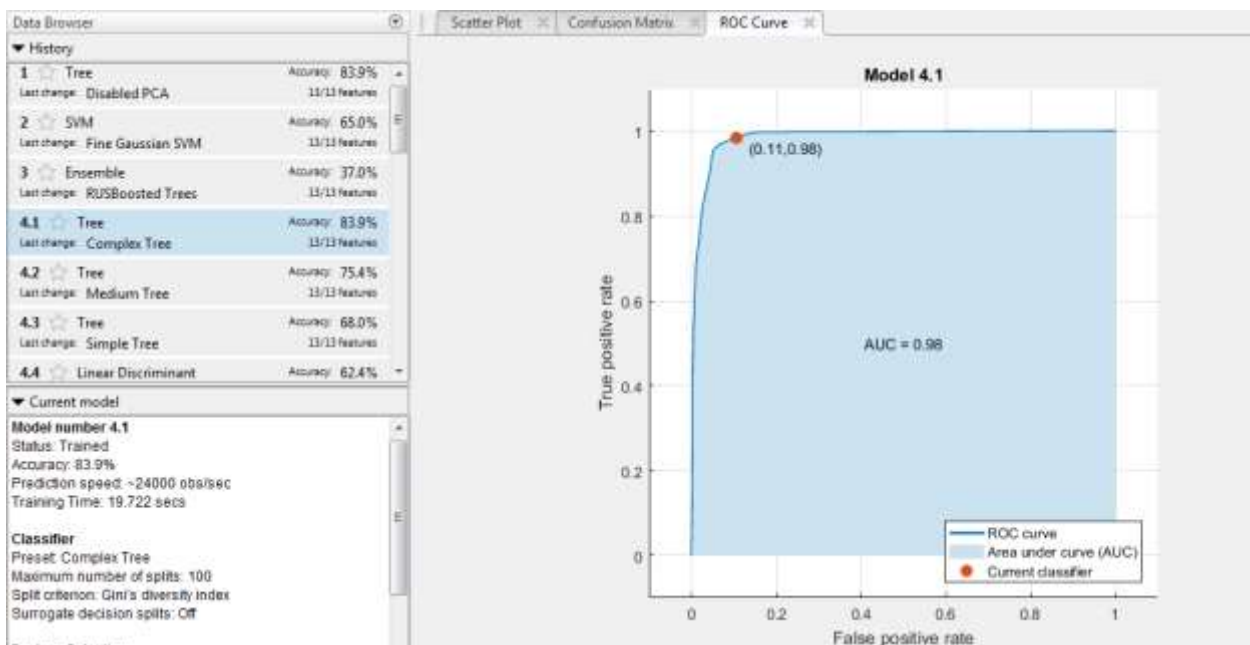
شکل ۵- عملکرد زیر مجموعه های مدل Ensemble

همان طور که در جدول بالا مشاهده می شود accuracy تمامی مدل ها تقریباً بالا می باشد. این بدان دلیل است که تمامی الگوریتم ها در قسمت پیش بینی شدت وقوع زلزله با دقت خوبی عمل می کنند. یکی از ابزارهایی که می توان از آن برای ارزیابی دقت یک مدل استفاده نمود نمودار ROC می باشد.

۱. تحلیل مدل های مختلف بر اساس نمودار ROC

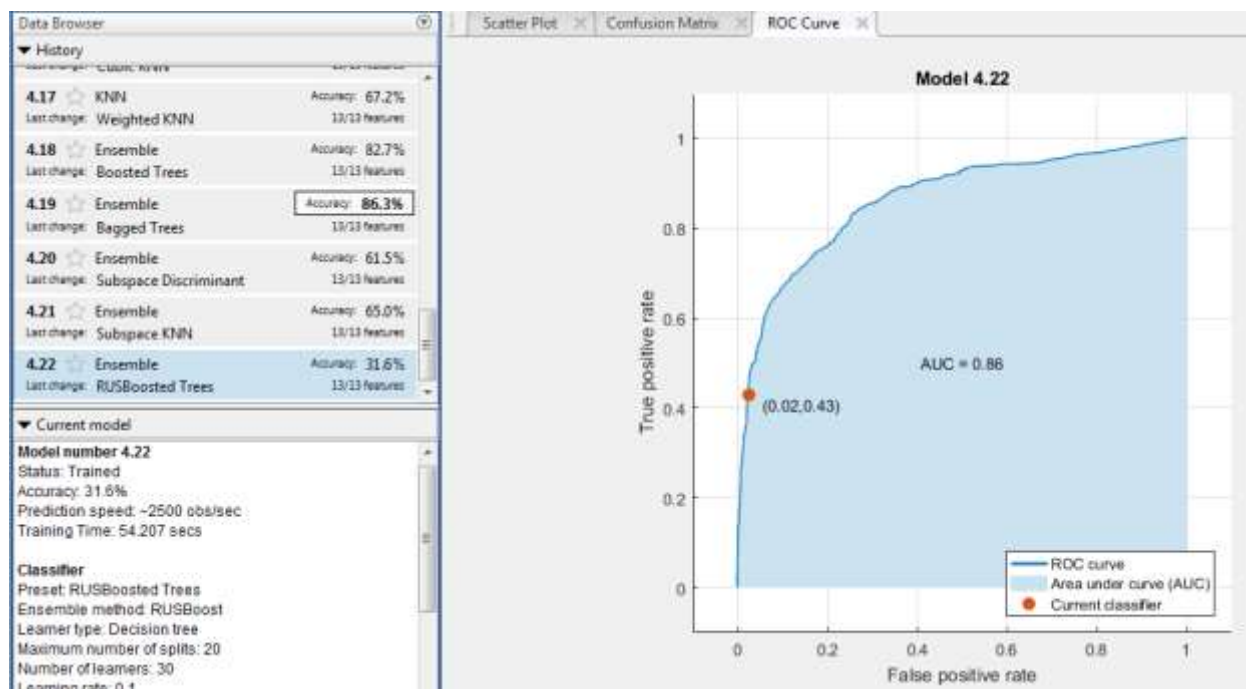


شکل ۶- تحلیل مدل SVM بر اساس نمودار ROC



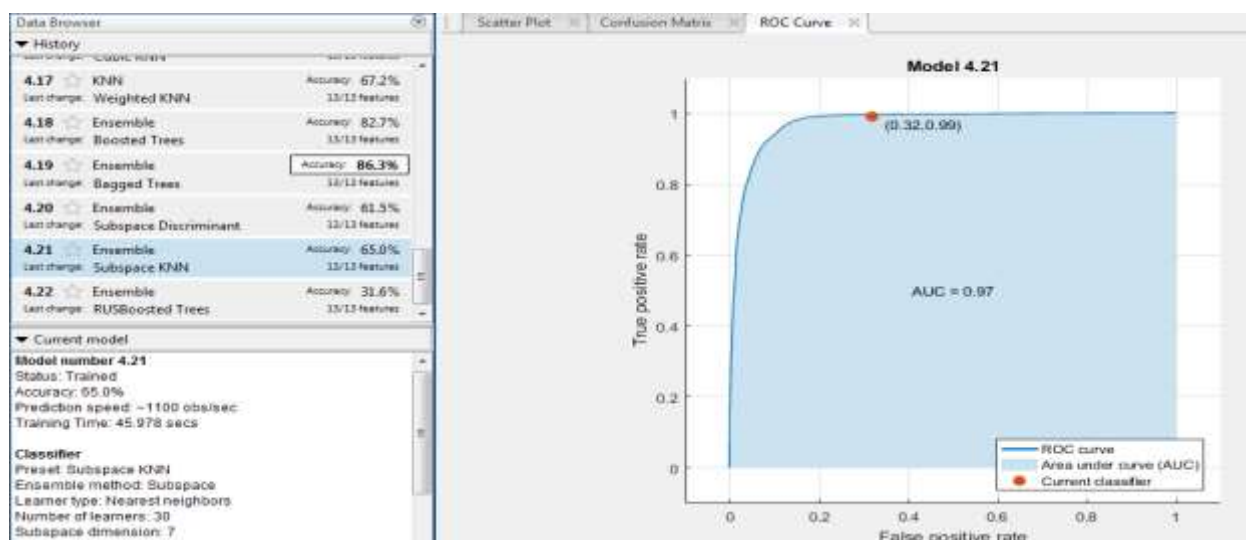
شکل ۷- تحلیل مدل درخت تصمیم بر اساس نمودار ROC

همان طور که در شکل ۱۰ مشاهده می شود. مدل درخت تصمیم از نظر کیفیت بدون در نظر گرفتن میزان accuracy یکی از دقیق ترین مدل ها می باشد.



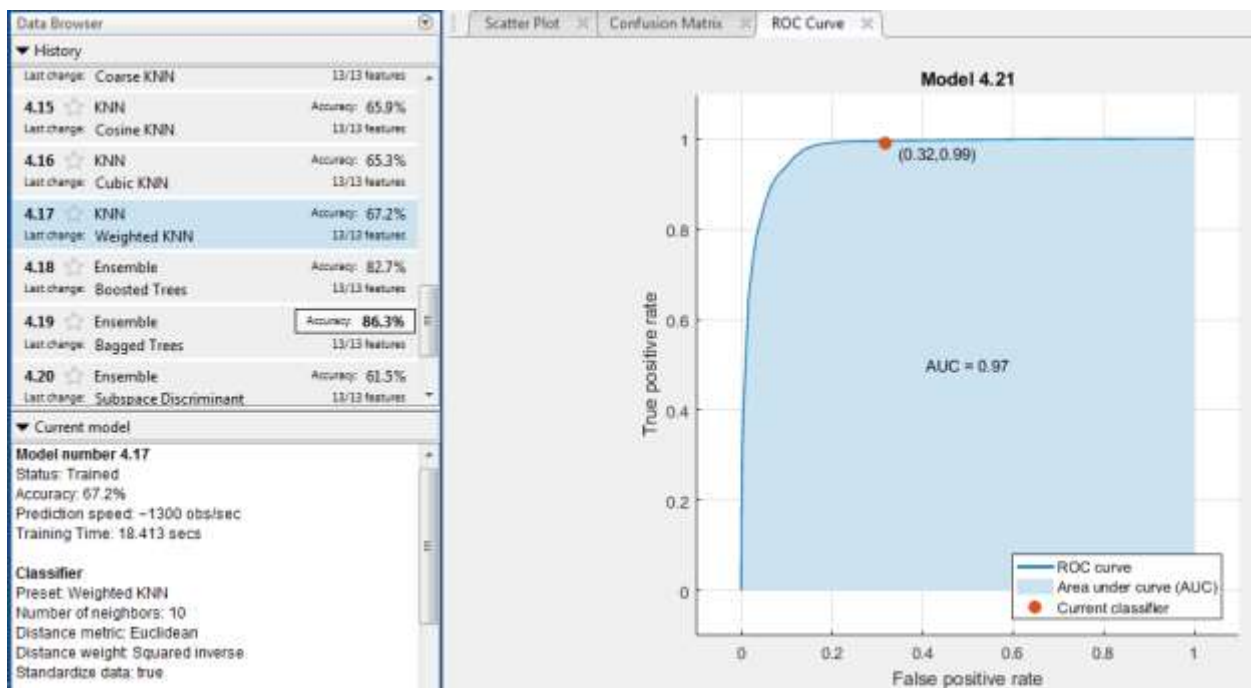
شکل ۸- تحلیل مدل Ensemble بر اساس نمودار ROC

همان طور که در نمودار مشاهده می شود مدل Rusboosted tree از دقت خوبی برخوردار نمی باشد. این مدل برای دیتاست هایی که از مشکل عدم تعادل رنج می برند معمولاً نتایج خوبی را حاصل می کند.



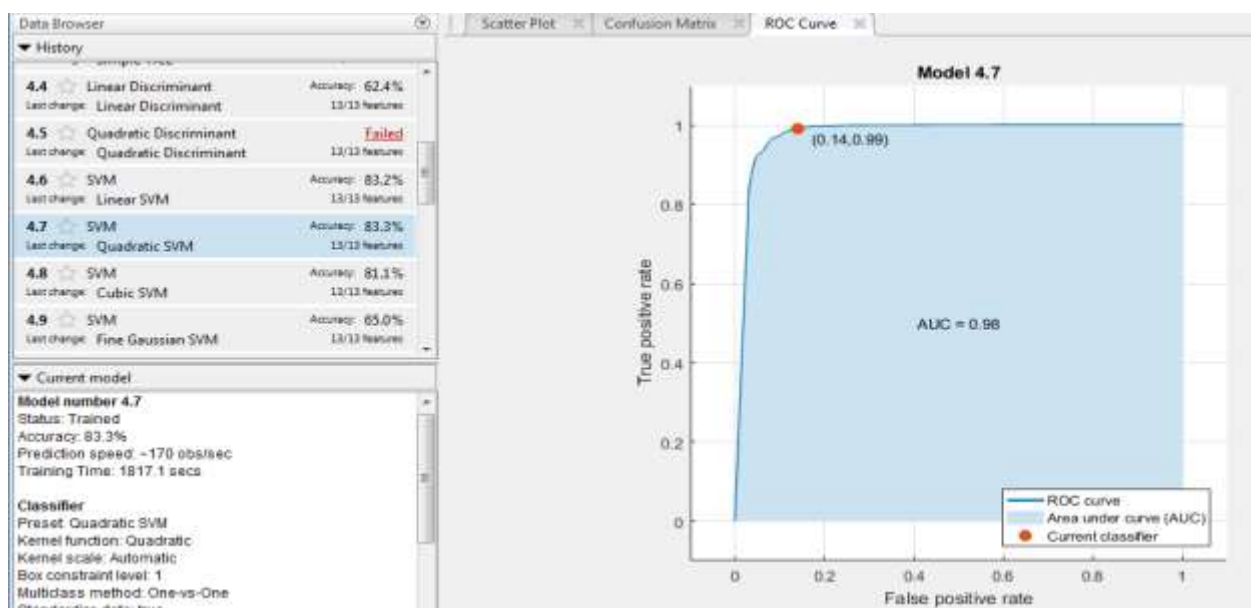
شکل ۹- تحلیل مدل Ensemble بر اساس نمودار ROC

همانطور که در نمودار مشاهده می کنید کشیدگی نمودار به سمت عدد ۱ بسیار زیاد می باشد همین مسئله بیانگر این مطلب می باشد که مدل Ensemble بلحاظ توانمندی از دقت مطلوبی برخوردار می باشد.



شکل ۱۰- تحلیل مدل KNN بر اساس نمودار ROC

همان طور که در شکل مشاهده می شود کشیدگی خوبی در نمودار ROC به سمت عدد ۱ وجود دارد که بیانگر توانمندی مدل KNN در پیش بینی وقوع زلزله می باشد.



شکل ۱۱- تحلیل مدل SVM بر اساس نمودار ROC

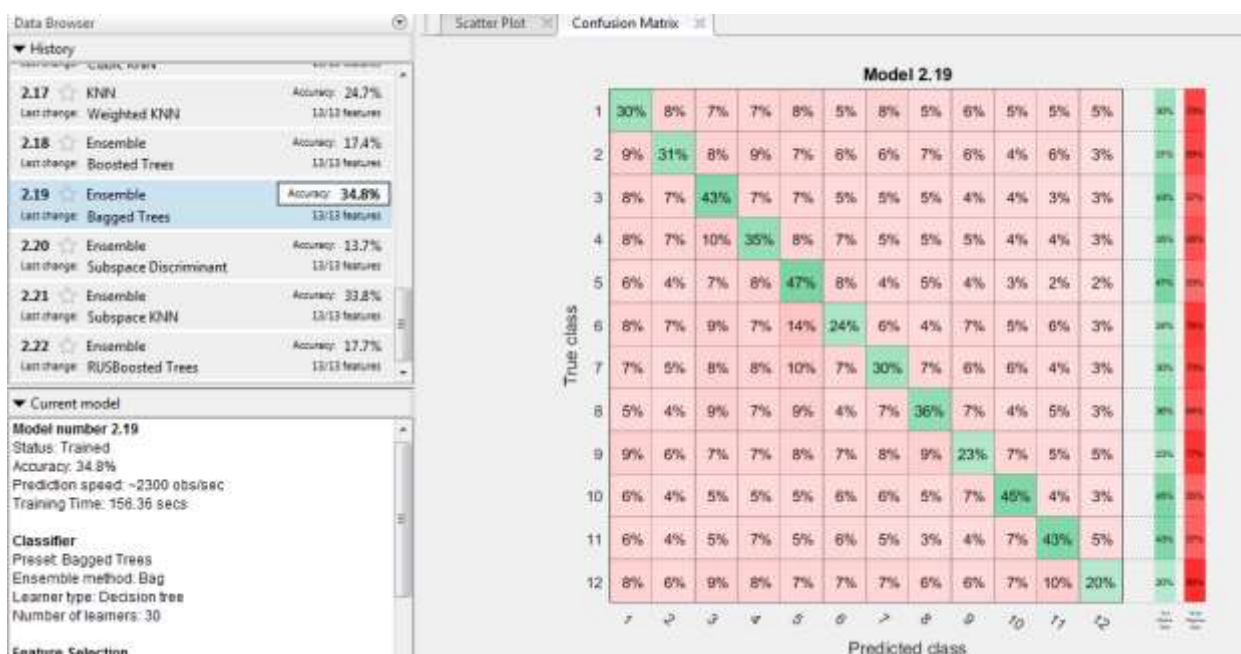
همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌شود کشیدگی نمودار به سمت عدد ۱ بسیار زیاد می‌باشد همین مسئله بیانگر این مطلب می‌باشد که مدل SVM بلحاظ توانمندی از دقت مطلوبی برخوردار می‌باشد.

با توجه به نمودار ROC، هرچه کشیدگی نمودار به سمت ۱ بیشتر باشد بدان معنا می‌باشد که مدل از کیفیت مطلوب‌تری برخوردار می‌باشد. همان‌طور که در نمودارهای بالا مشاهده می‌شود اکثریت مدل‌های منتخب از کیفیت مطلوبی برخوردار می‌باشند.

۳. بررسی مدل‌های مختلف داده کاوی در پیش بینی ماه وقوع زلزله

جهت بررسی اینکه آیا بین ماهی که در آن زلزله رخ داده است و زلزله ارتباطی وجود دارد یا خیر. برای این منظور اقدام به پیش بینی بر اساس داده‌های موجود شد. نتایج حاصل شده به شرح جدول زیر بر اساس معیار ACCURECY بدست آمد که نشان دهنده آن است که حرکت وضعیت زمین و فصول سال تاثیر زیادی در وقوع زلزله دارد. برای مثال این باور که عوام می‌گویند که در تابستان بیشتر زلزله می‌آید باور غلطی می‌باشد.

پس از پیاده سازی حدود ۲۳ مدل نهایتاً در مدل ENSEMBLE به ACCURECY ۳۴ درصد دست پیدا شد. البته دقت مدل در بعضی از ماه‌های سال جالب توجه بود.



شکل ۱۲- تحلیل مدل Ensemble بر اساس confusion matrix

همان‌طور که در ماتریکس تحلیلی مدل Ensemble مشاهده می‌شود مقدار دقت مدل در پیش بینی درست و غلط در ستون سمت راست قابل مشاهده می‌باشد. این ماتریکس دقت مدل را به تفکیک ماه‌های سال با دقت مطلوبی نشان می‌دهد. توجه به جدول با احتمال ضعیف می‌توان عنوان کرد که احتمال وقوع زلزله در اواسط تابستان و زمستان بیشتر می‌باشد. نمی‌دانیم این به دلیل جاذبه می‌باشد و یا سرما و یا گرمای شدید در این دو موقع سال در وقوع زلزله موثر می‌باشد. ولی به دلیل پایین بودن ACCURACY نتیجه خیلی قابل استناد نمی‌باشد.

در مرحله بعدی تلاش شد این به این سوال پاسخ داده شود که آیا الگوهای الکترومغناطیسی و عمق و شدت زلزله مربوط به یک شهر در آن حدی منحصر به فرد می باشد و یا در حدی هست که از طریق علائم بتوانیم تشخیص داد که احتمالا این زلزله در کدام شهر رخ داده است. که نتایج نشان داد در ترکیه حدود ۹۸ شهر وجود دارد. طول و عرض جغرافیایی و جهت و فاصله از مرکز کشور را از لیست پیش بینی حذف شد مدل های داده کاوی توانستند با دقت ۳۲ درصد پیش بینی درست انجام دهند که در مدل ensemble این مهم میسر گردید.

نتیجه گیری

در این پژوهش شدت زلزله با دقت خوبی پیش بینی شد که البته مدل پژوهش در زمانی که شدت زلزله به بالای ۶ ریشتر می رسید از پیش بینی ناتوان بود و برای زلزله های زیر ۳ ریشتر نیز نمی توانست نتایج خوبی ارائه کند ولی برای شدت های بین ۳ الی ۶ ریشتر تقریباً با دقت خوبی توانست پیش بینی انجام دهد. پس نتیجه گیری شد که داده کاوی ابزاری توانمند در پیش بینی میزان شدت زلزله می باشد. در این پژوهش بررسی شد که آیا وقوع زلزله در ماه های خاصی از سال اتفاق می افتد و یا خیر. پیش بینی با استفاده از داده کاوی انجام شد نتایج دو برداشت دانشی را در پی داشت که قطعاً یکی از آن دو و یا هر دو آن ها به شکلی موثر می باشند در وقوع زلزله. نتایج کلی بدست آمده رضایت بخش نبود ولی دقت مدل در ۲ ماه از سال به طرز محسوسی بالا بوده است و آن دو ماه دقیقاً در اوج گرمای تابستان و اوج سرمای زمستان بوده است. نتیجه ای که گرفته شد آن بود که احتمالاً سرما و گرمای شدید هوا بر پوسته زمین تاثیرگذار می باشد. مدل های داده کاوی با دقت بالای ۴۶ درصد در این دو ماه بخصوص توانستند وقوع زلزله را درست پیش بینی کنند. در ادامه پژوهش بهترین نتیجه ای که حاصل شد با دقت ۱۴ درصد توانست طول و عرض جغرافیایی را پیش بینی نماید.

با توجه به اینکه عواملی که در وقوع زلزله دخیل و تاثیر گذار می باشند بسیار زیاد می باشد و زمینه های همه آنها با هم متفاوت می باشد. برای مثال داده های مربوط به زمین، تاریخچه زلزله های قبلی، اطلاعات دقیق هواشناسی، وضعیت لایه های اتمسفر، گسل های زیر زمین (تعیین ضریب خطر در دیتاست برای هر منطقه)، دستکاری بشر که از جمله آنها می توان به سد سازی اشاره کرد. و بسیاری از عوامل محیطی و غیر محیطی دیگر حتی وضعیت سیارات منظومه شمسی نسبت به زمین از جمله فاصله آنها و هر پارامتری که بتوان آنرا تاثیر گذار بر روی زلزله قلمداد کرد از جمله می توان به فعالیت های آتشفشانی نیز اشاره کرد. نهایتاً اعتقاد است بوسیله یک دیتاست هیبرید بسیار دقیق بتوان نتایج خوبی برای پیش بینی وقوع زلزله بدست آورد.

منابع

۱. Akhouayri, E.-S., et al., *A fuzzy expert system for automatic seismic signal classification*. Expert Systems with Applications, 2015. **42**(3): p. 1013-1027.
۲. Andrić, J.M. and D.-G. Lu, *Fuzzy probabilistic seismic hazard analysis with applications to Kunming city, China*. Natural Hazards, 2017. **89**(3): p. 1031-1057.
۳. Asim, K.M., et al., *Seismic activity prediction using computational intelligence techniques in northern Pakistan*. Acta Geophysica, 2017. **65**(5): p. 919-930.

۴. Asim, K., et al., *Earthquake magnitude prediction in Hindukush region using machine learning techniques*. Natural Hazards, 2017. **85**(1): p. 471-486.
۵. Aghdam, I.N., M.H.M. Varzandeh, and B. Pradhan, *Landslide susceptibility mapping using an ensemble statistical index (Wi) and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) model at Alborz Mountains (Iran)*. Environmental Earth Sciences, 2016. **75**(7): p. 1-20.
۶. Bahrami, B. and M. Shafiee, *Fuzzy descriptor models for earthquake time prediction using seismic time series*. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 2015. **23**(04): p. 505-519.
۷. Ahumada, A., A. Altunkaynak, and A. Ayoub, *Fuzzy logic-based attenuation relationships of strong motion earthquake records*. Expert systems with applications, 2015. **42**(3): p. 1287-1297.
۸. Ratnam, D.V., G. Vindhya, and J.K. Dabbakuti, *Ionospheric forecasting model using fuzzy logic-based gradient descent method*. Geodesy and Geodynamics, 2017. **8**(5): p. 305-310.
۹. Hossain, M.S., et al., *A belief rule based expert system to predict earthquake under uncertainty*. Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications, 2018. **9**(2): p. 26-41.
۱۰. Ikram, A. and U. Qamar, *A rule-based expert system for earthquake prediction*. Journal of Intelligent Information Systems, 2014. **43**(2): p. 205-230.
۱۱. Mirrashid, M., *Earthquake magnitude prediction by adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) based on fuzzy C-means algorithm*. Natural hazards, 2014. **74**(3): p. 1577-1593.
۱۲. Ghorbanzadeh, O., et al., *A new GIS-based data mining technique using an adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and k-fold cross-validation approach for land subsidence susceptibility mapping*. Natural Hazards, 2018. **94**(2): p. 497-517.
۱۳. Kamath, R. and R. Kamat, *Earthquake magnitude prediction for Andaman-Nicobar islands: Adaptive neuro fuzzy modeling with fuzzy subtractive clustering approach*. J. Chem. Pharm. Sci, 2017. **10**(3): p. 1228-1233.
۱۴. Fayadd, U., G. Piatessky-Shapiro, and P. Smyth, *From data mining to knowledge discovery in databases*. AI Magazine, 1996. **17**(3): p. 37-54.
۱۵. Asim, K.M., et al., *Seismicity analysis and machine learning models for short-term low magnitude seismic activity predictions in Cyprus*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2020. **130**: p. 105932.
۱۶. Vasti, M. and A. Dev, *Classification and Analysis of Real-World Earthquake Data Using Various Machine Learning Algorithms*, in *Advances in Data Sciences, Security and Applications*. 2020, Springer. p. 1-14.
۱۷. Mukhopadhyay, U.K., et al. *Correlating Thermal Anomaly with Earthquake Occurrences Using Remote Sensing*. in *International Conference on Advanced Machine Learning Technologies and Applications*. 2019. Springer.
۱۸. Karimzadeh, S., et al., *Spatial prediction of aftershocks triggered by a major earthquake: A binary machine learning perspective*. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2019. **8**(10): p. 462.
۱۹. Al-Najjar, H.A., et al. *Conditioning factor determination for mapping and prediction of landslide susceptibility using machine learning algorithms*. in *Earth resources and environmental remote sensing/GIS applications X*. 2019. International Society for Optics and Photonics.

۲۰. Ganter, T., A. Sundermier, and S. Ballard, *Alternate null hypothesis correlation: A new approach to automatic seismic event detection*. Bulletin of the Seismological Society of America, 2018. **108**(6): p. 3528-3547.
۲۱. Mosavi, A., P. Ozturk, and K.-w. Chau, *Flood prediction using machine learning models: Literature review*. Water, 2018. **10**(11): p. 1536.
۲۲. Preethi, G. and B. Santhi, *Study on techniques of earthquake prediction*. International Journal of computer applications, 2011. **29**(4): p. 55-58.