

آشکارسازی پدیده گردوغبار جنوب غرب ایران با استفاده از شاخص‌های NDDI و BTD و شبکه عصبی

مرضیه دیراوی پور^۱

حسین محمدعسگری^۲

سعید فرهادی^۳

ایمان نجفی^۴

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۰۶/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۰۶/۱۲

چکیده

امروزه پدیده‌های گردوغباری در ردیف مهم‌ترین مخاطرات محیطی قرار گرفته و سلامتی انسان و محیط زیست را با خطر جدی روبرو نموده‌اند. یکی از ویژگی‌های مهم نواحی بیابانی (خشک و نیمه‌خشک)، رخداد پدیده‌های گردوغباری است. تشخیص توفان‌های گردوغبار، اولین و مهم‌ترین روش جهت پیش‌گیری و کاهش آثار مخرب آن می‌باشد. از این رو هدف تحقیق حاضر تشخیص و بارزسازی گردوغبار با استفاده از شاخص‌های NDDI و BTD و شبکه‌های عصبی در نرم افزار MATLAB می‌باشد. در این تحقیق نتایج مربوط به پدیده‌های گردوغبار تاریخ ۳۰ خردادماه ۱۳۹۱ شمسی (۲۰۱۲/۰۶/۱۹) مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان داد، شاخص NDDI به تنهایی قادر به تفکیک پیکسل‌های گردوغبار موجود در اتمسفر از پیکسل‌های غیرگردوغبار و ماسه زمینی نبوده و عملکرد ضعیفی دارد. شاخص BTD، گردوغبار اکوسیستم خشکی را به خوبی بارزسازی کرد ولی (۲۰-۳۱) BTD و (۲۳-۳۱) BTD بارزسازی بهتری در اکوسیستم آبی داشت. بنابراین، باید با دقت زیاد آستانه را تعیین کرد. همچنین، بارزسازی در زمین‌های شنی و ماسه‌ای به خوبی انجام نشد. شبکه عصبی مصنوعی پیشرو برای تصاویر روزانه با ۶۰٪ و برای تصاویر شبانه با ۵۹٪، دقت و عملکرد نسبتاً خوبی را نشان داد. بنابراین، شبکه عصبی نسبت به شاخص‌های NDDI و BTD، روش مناسب‌تری برای تشخیص و بارزسازی گردوغبار بود و نیازی به تعیین آستانه برای بررسی هر تصویر نداشت. هرچه نمونه‌های آموزشی شبکه عصبی، با دقت و تعداد بیشتر و ابعاد بزرگتر انتخاب شود، عملکرد و دقت شبکه افزایش خواهد یافت. نتایج این تحقیق می‌تواند در راستای تشخیص خودکار گردوغبار در طول روز و شب و در اکوسیستم‌های آبی و خشکی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: NDDI، BTD، شبکه عصبی، گردوغبار، مودیس

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد محیط زیست دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر marziyeh.deiravi.pour@gmail.com

۲- عضو هیأت علمی محیط زیست، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر (نویسنده مسئول) h.masgari@kmsu.ac.ir

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر Sfarhadi1989@gmail.com

۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی سنجش از دور، دانشگاه اصفهان i.najafi.ui@gmail.com

۱- مقدمه

امروزه پدیده‌های گردوغباری در ردیف مهم‌ترین مخاطرات محیطی قرار گرفته و سلامتی انسان و محیط‌زیست را با خطر جدی روبرو نموده‌اند. وسعت بیابان‌های واقعی یا مناطق فراخشک کشور ایران در طرح جامع آب کشور به ۴/۵۷ میلیون هکتار یا ۵/۳۵ درصد مساحت کشور است. به همین دلیل و همچنین به دلیل هم‌جواری با بخش وسیعی از پهنه‌های بیابانی، تحت آثار نامطلوب پدیده‌ی گردوغبار قرار می‌گیرد (سهراب‌زهی، ۱۳۹۴: ۲۳-۲۴). همچنین در چند دهه‌ی گذشته، صنعتی سازی و فعالیت‌های انسانی موجب تغییر در آب‌وهوای زمین و کیفیت هوا شده‌اند. به دلیل انتشار بیش از حد گازها و آئروسول‌ها، ضروری است توزیع‌های آئروسول‌های جهانی و چگونگی تغییرات و پراکندگی آن‌ها به صورت منظم مورد مطالعه قرار گیرند. به ویژه آئروسول‌هایی نظیر توفان‌های گردوغبار و دود که تغییرات فضایی و زمانی زیادی دارند (Zhaoh et al., 2010:2348). ساختار رخدادهای گردوغبار بسیار پیچیده و وابسته به سامانه هوای محلی، بارندگی، رطوبت خاک و تغییرات پوشش سطح هست. به جز خسارت‌های زیست‌محیطی و کاهش دید، توفان‌های گردوغبار با تغییر تابش و در نتیجه انرژی رسیده به سطح زمین، اثرهای اقلیمی در مقیاس ناحیه‌ای و جهانی از خود به جا می‌گذارند (تقوی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۵).

گردوغبار در طی یک دهه‌ی گذشته، تبعات اجتماعی و اقتصادی مخربی برای استان‌های متأثر در ایران داشته است. تشدید روند مهاجرت افراد (به‌ویژه در اقشار متخصص و نخبه) از مناطق متأثر از گردوغبار، بیکاری و یا کاهش درآمد در مشاغل مختلف شهری و روستایی، کاهش تولید و آسیب به محصولات کشاورزی، رکود گردشگری، اختلال در حمل‌ونقل هوایی و امنیت پروازها، کاهش کارایی فردی و اجتماعی، تعطیلی مراکز آموزشی و تفریحی (خالدی، ۱۳۹۲: ۱۰۷)، اختلال در ارتباط از راه دور و دستگاه‌های مکانیکی از جمله پیامدهای مخرب توفان غبار هستند (Nabavi et al., 2016).

۹۳. همچنین در دراز مدت منجر به افزایش خشکسالی، تغییر کاربری اراضی و پوشش زمین می‌شوند (Li and Song., 2009:169).

در ایران، پژوهشگران متعددی جهت ایجاد الگوریتم و روش‌های بسیار دقیق و کارآمد تشخیص گردوغبار در تلاش هستند. خیراندیش و همکاران (۱۳۹۷) طی پژوهشی به شناسایی بهترین الگوریتم تشخیص گردوغبار به کمک داده‌های مودیس پرداختند. بدین منظور، سه رویداد گردوغبار جنوب غرب ایران در سال ۲۰۱۲ با استفاده از پنج الگوریتم مختلف آکرم، شاخص گردوغبار، میلر، (TIIDI)^۱ و (DUST RGB) بارزسازی شدند و روش‌ها مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد، روش‌های آکرم، شاخص گردوغبار و میلر نیازمند تنظیم آستانه برای هر رویداد با استفاده از روش هیستوگرام هستند. روش TIIDI نتوانست گردوغبار را به خوبی در اکوسیستم‌های آبی بارزسازی کند. در روش DUST RGB به خوبی گردوغبار از بقیه عوارض قابل تشخیص بود. تقوی و همکاران (۱۳۹۶) به منظور بررسی رفتار توفان‌های گردوغبار، از دو الگوریتم جهت تقویت گردوغبار با استفاده از داده‌های تابش و بازتاب مودیس، در مقایسه با خروجی مدل‌های عددی و دیگر محصولات ماهواره‌ای استفاده کردند. نتایج نشان داد، با ترکیب تابش / بازتاب باندهای مرئی و طیف مادون قرمز حرارتی، دقیق‌تر می‌توان ریزگردها را تشخیص داد. با این حال، هنوز هم مناطق غبارآلود به خوبی همه جا قابل تشخیص نیستند.

بنابراین، تولید الگوریتم‌های پیچیده‌تر می‌تواند برای مطالعات آینده پیشنهاد شود. فرهادی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای به تخمین عمق نوری ریزگردها با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در سطح خلیج فارس پرداختند و بیان کردند که نتایج حاصل از تصاویر با داده‌های اندازه‌گیری شده در اکثر ایستگاه‌ها دارای همبستگی معنی‌دار می‌باشد ($R^2=0.93$). به ترتیب باندهای ۱/۲۴۳ و ۱/۶۴۳

1- Thermal Infrared Integrated Dust Index

گردوغبار با استفاده از سنجش از دور، از داده‌های سنجنده مودیس استفاده کرده‌اند که این به دلیل توانایی و قابلیت بالای سنجنده مودیس در تشخیص گردوغبار می‌باشد. بنابراین، به دلیل اهمیت موضوع گردوغبار در این پژوهش نیز از داده‌های سنجنده مودیس ماهواره‌های آکوا و ترا برای بارزسازی گردوغبار استفاده خواهد شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، جنوب غرب ایران شامل منطقه خوزستان و خلیج فارس است که طی سال‌های اخیر به شدت تحت تأثیر گردوغبار با منشأ داخلی و به خصوص با منشأ خارجی قرار گرفته است.

استان خوزستان واقع در جنوب غربی ایران بین مختصات جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی از خط استوا واقع شده است (طاووسی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۰۰). خلیج فارس نیز، خلیجی است حاشیه‌ای نیمه بسته که در محدوده جغرافیایی ۴۸ درجه تا ۵۶ درجه طول شرقی و ۲۴ درجه تا ۳۰ درجه عرض شمالی واقع شده و یکی از زیر حوضه‌های شمال غربی اقیانوس هند است.

مساحت آن ۲۳۷۴۷۳ کیلومتر مربع و پس از خلیج مکزیک و خلیج هودسن، سومین خلیج بزرگ جهان به شمار می‌آید (سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۷۷). محدوده و موقعیت منطقه مورد مطالعه در نگاره (۱) نشان داده شده است. در پژوهش حاضر، توفان‌های گردوغبار جنوب غربی ایران مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در این تحقیق نتایج مربوط به پدیده‌های گرد و غبار تاریخ ۳۰ خردادماه ۱۳۹۱ شمسی (۲۰۱۲ / ۰۶ / ۱۹) مورد استفاده قرار گرفته و سعی شده است که از پدیده‌های سنگین گرد و غبار در منطقه استفاده شود.

ضریب همبستگی ۰/۹۴ و ۰/۹۷ و RMSE و RMSD برابر با ۰/۰۲ و ۰/۰۲ برای باند ۱/۲۴۳ و ۰/۱ و ۰/۰۱ برای باند ۱/۶۴۳ بهترین و مناسب‌ترین حالت را نمایش دادند.

Yang و همکاران (۲۰۱۷)، طی پژوهشی، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ویژگی پدیده‌های مختلف مانند ابر، پوشش گیاهی، یخ/ برف و صحرای گبی و تجزیه تحلیل دمای روشنایی به تشخیص و بارزسازی گردوغبار پرداختند. نتایج بدست آمده را با تصاویر ترکیب رنگی حقیقی مقایسه کردند و نتیجه گرفتند، به جز توفان‌های غیر متراکم روی سطوح روشن، سایر مناطق گردوغبار به خوبی بارزسازی شدند.

Xiao و همکاران (۲۰۱۵)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای زمین ثابت و مدل شبکه عصبی به تشخیص و بارزسازی گردوغبار پرداختند.

مدل پیشنهادی شامل سه بخش مدل شبکه عصبی (NN) برای تشخیص توفان گردوغبار در زمان وقوع، مدل شبکه عصبی برای گردوغبار عمق نوری آتروسول (AOT) و مدل لاگرانژی (HYSPLIT)^۱ برای تجزیه و تحلیل مسیر حرکت و انتقال گردوغبار می‌باشد.

نتایج پژوهش نشان داد، شبکه عصبی به خوبی قادر به تشخیص توفان گردوغبار می‌باشد. همچنین، با استفاده از این روش خودکار ترکیبی سه مدل، می‌توان به پیش‌بینی توفان‌های گردوغبار و مسیر حرکت آن پرداخت.

Zhang و همکاران (۲۰۱۵)، با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس (level 1B)، تفاضل دمای روشنایی (BTD) و داده‌های لندست ۸، در طول سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ به شناسایی نقاط داغ گردوغبار شرق چین و مغولستان پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد، استفاده از سنجنده مودیس و شاخص BTD به خوبی گردوغبار مناطق را بارزسازی می‌کند.

براساس بررسی‌های به عمل آمده از پژوهش‌های پیشین، در بیشتر مطالعات انجام شده در خصوص شناسایی پدیده

محصولات آئروسل سنجنده با شاخص‌های گردوغبار مودیس یا سنجنده‌های دیگر باشد (برتینا، ۱۳۹۱: ۹۹). در این پژوهش جهت بارزسازی گردوغبار، ابتدا فایل HDF تصاویر MOD021k مودیس را وارد نرم‌افزار ENVI 5.2 کرده و پس از پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای، با روش‌های مختلف مثل ایجاد تصاویر رنگی کاذب، الگوریتم‌های BT, NDDI و روش شبکه عصبی به تشخیص گردوغبار تصاویر ماهواره‌ای پرداخته شد. در این راستا، باندهای مورد نیاز برای الگوریتم BT, NDDI را به صورت تک باند در نرم‌افزار ENVI، ذخیره و جهت اعمال الگوریتم‌های بارزسازی، به نرم‌افزار MATLAB وارد شد.

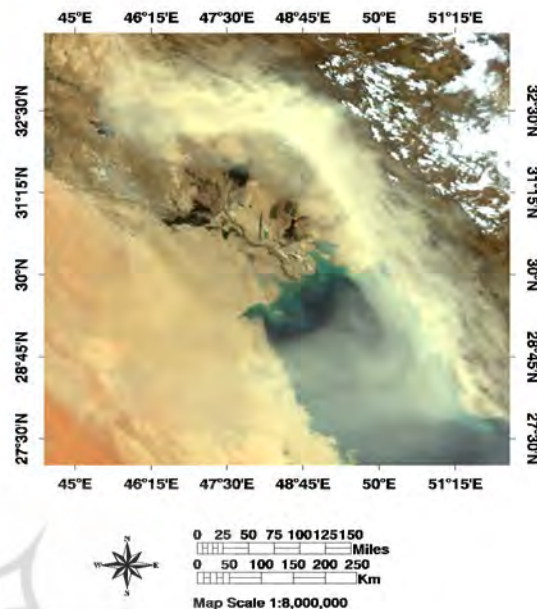
شاخص NDDI: شاخص گرد و غباری نرمال شده (NDDI) برای ردیابی توفان‌های گردوغبار، با رابطه (۱) تعریف می‌شود:

$$NDDI = (b7 - b3) / (b7 + b3)$$

(رابطه ۱)

که $b7$ مربوط به باند ۷ و $b3$ مربوط به باند ۳ سنجنده مودیس می‌باشد. در بررسی‌های مختلف، براساس نوع و شرایط حاکم بر منطقه، آستانه‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش، آستانه‌های مختلفی بررسی شد و همچنین، جهت اعمال این شاخص در MATLAB، از کدی به زبان نرم افزار MATLAB استفاده شد.

شاخص BT: آکرمن در سال ۱۹۹۷ با در نظر داشتن مزایای نسبی داده‌های فرسرخ در برابر داده‌های مرئی از جمله کارایی روی سطوح براق و قابلیت بارزسازی در طول شب، یک روش بارزسازی را برای دو آئروسل گردوغبار و خاکستر آتشفشانی با استفاده از طول موج فرسرخ ارائه نمود. مبنای روش کار او بر اساس تفاضل دمایی روشنایی در طول موج‌های ۱۱ و ۱۲ میکرون با آستانه صفر بود. به طوری که $BT \geq 0$ (۳۱-۳۲) گردوغبار موجود در منطقه را نشان می‌داد. به عبارتی دیگر، اختلاف درجه حرارت روشنایی این باندها می‌تواند برای شناسایی توده‌های گرد و غبار مؤثر باشند. زیرا وجود توده‌های گردوغبار سبب



نگاره ۱: منطقه‌ی مورد مطالعه

۲-۲- ورودی الگوریتم بازیابی آئروسل

در این پژوهش، ضمن استفاده از روش کتابخانه‌ای و تعیین روزهای توفان گردوغبار با استفاده از اطلاعات هواشناسی استان، برای آشکارسازی گردوغبار از داده‌های ماهواره‌ای و چندین الگوریتم مبتنی بر پردازش تصویر، با داده حسگر مودیس استفاده می‌گردد. داده‌های مورد استفاده در الگوریتم‌های ماسک گردوغبار، عبارت است از تصاویر روزهای توفانی گردوغبار سنجنده مودیس که تحت عنوان سطح 1B توسط تیم هماهنگی مودیس (MCST) تهیه شده است. جهت خواندن و نمایش این فایل‌ها، از نرم‌افزارهای مختلفی می‌توان استفاده کرد. ما در این پژوهش، از دو نرم‌افزار بسیار کاربردی MATLAB نسخه R2016a و ENVI نسخه ۵،۲ که هر کدام ویژگی‌های خاصی دارند، استفاده می‌کنیم.

جهت ارزیابی روش‌های متفاوت بارزسازی گردوغبار، لازم است که نتایج الگوریتم‌ها با یک منبع مستقل دیگر مقایسه شود. این منبع می‌تواند تصویر رنگی طبیعی،

۲-۳- تشخیص گرد و غبار در طول روز با استفاده از روش شبکه عصبی

به علت اهمیت موضوع گردوغبار و نقش سنجش از دور و تصاویر ماهواره ای در شناخت بهتر و بیشتر محیط پیرامون ما و همچنین روش کارآمد شبکه‌های عصبی مصنوعی، تصمیم گرفته شد که در این مطالعه به طبقه‌بندی تصاویر سنجنده مودیس با روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و تشخیص گردوغبار پرداخته شود. به طور کلی، باندهای ۲۰، ۲۳، ۳۱ و ۳۲ مودیس، برای تشخیص توفان گردوغبار از کانال‌های حرارتی مادون قرمز بیشتر مورد استفاده قرار گرفت. تفاوت دمای روشنایی بین این باندها می‌تواند توفان‌های غبار را از سایر پدیده‌ها تشخیص دهد (El-Ossta, 2013:63). در این مطالعه، یک شبکه عصبی مصنوعی پیشخور (FFNN) برای شناسایی توفان گردوغبار، با استفاده از ۲۰ مجموعه داده‌ای برای روز و ۱۱ مجموعه داده‌ای برای شب در استان خوزستان و شمال خلیج فارس استفاده شد. در شبکه عصبی برای طبقه‌بندی پیکسل‌های مختلف بر اساس مقادیر BT0 (بین باندهای ۲۰ و ۳۱)، BT1 (بین باندهای ۳۱ و ۳۲) و BT2 (بین باندهای ۳۱، ۳ و ۴) استفاده شد. باندهای ۱، ۳ و ۴ مودیس برای ایجاد تصویر رنگی حقیقی جهت تشخیص بهتر پدیده‌های سطح زمین مورد استفاده قرار گرفت که این سه باند فقط برای تصاویر روزانه مودیس استفاده شد. آموزش و تست ویژگی‌های بردار استفاده شده در این مطالعه عبارتند از: نمونه پیکسل آب، ابر، زمین، توفان گردوغبار بر روی خشکی و آب استخراج شده از BT0 (۲۰-۳۱)، BT1 (۲۳-۳۱)، BT2 (۳۱-۳۲) و باندهای ۱، ۳، ۴ برای روز، با ۷۰٪ مورد استفاده برای آموزش، ۱۵٪ برای ارزیابی و ۱۵٪ برای تست شبکه عصبی، در مجموع ۲۵۰۰۰۰ اجزای اطلاعات استخراج شده از ۲۰ تصویر روزانه و با ۷۰٪ مورد استفاده برای آموزش، ۱۵٪ برای ارزیابی و ۱۵٪ برای تست شبکه عصبی، در مجموع ۱۹۲۵۰۰ اجزای اطلاعات استخراج شده از یک تصویر روزانه در این مطالعه استفاده شد. اطلاعات استخراج

افزایش ضخامت نوری گردوغبار شده و این عامل افزایش مقادیر اختلافی BT11-BT12 را موجب خواهد شد (کمیلیان، ۱۳۹۲:۱۵). پس از زمین مرجع نمودن تصاویر، الگوریتم‌ها به طور جداگانه بر روی چهار تصویر اعمال گردید. برای این‌که بتوان از الگوریتم BT0 بر روی تصاویر استفاده کرد، باید دمای درخشندگی باندهای حرارتی مورد نظر محاسبه شود. این کار در نرم‌افزار ENVI مشخص می‌کند. محاسبه دمای روشنایی در نرم‌افزار MATLAB، با استفاده از رابطه پلانک و کدهای مربوطه انجام شد. در ادامه با انتخاب نمونه از پدیده‌های آب، ابر، زمین (خاک)، گردوغبار روی خشکی و آب و با استفاده از کدنویسی در نرم‌افزار MATLAB، دقت تشخیص گردوغبار را مورد بررسی قرار دادیم. به طور کلی، در این پژوهش ابتدا دمای روشنایی باندهای حرارتی ۲۰، ۲۳، ۳۱ و ۳۲ تصاویر روزانه و شبانه سنجنده مودیس محاسبه شد و سپس، با محاسبه BT0 (۲۰-۳۱)، BT1 (۲۳-۳۱) و BT2 (۳۱-۳۲) با آستانه مناسب منطقه، به تشخیص و بارزسازی گردوغبار پرداخته و عملکرد شاخص‌ها بررسی شد. نگاره (۲) فلوچارت کلی تشخیص گردوغبار با استفاده از دمای روشنایی را نشان می‌دهد.



نگاره ۲: فلوچارت کلی تشخیص گردوغبار با استفاده از دمای روشنایی

چهار پارامتر قبلی استفاده شد. در این پژوهش، برای ارزیابی شبکه، از ۷۰٪ نمونه تصاویر برای آموزش و ۳۰٪ نمونه تصاویر برای تست شبکه انتخاب شد. آموزش و تست شد، سپس، میانگین و انحراف معیار محاسبه شد. نگاره (۳) فلوجارت مراحل کلی روند شبکه عصبی FFNN طی شده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

۳- نتایج

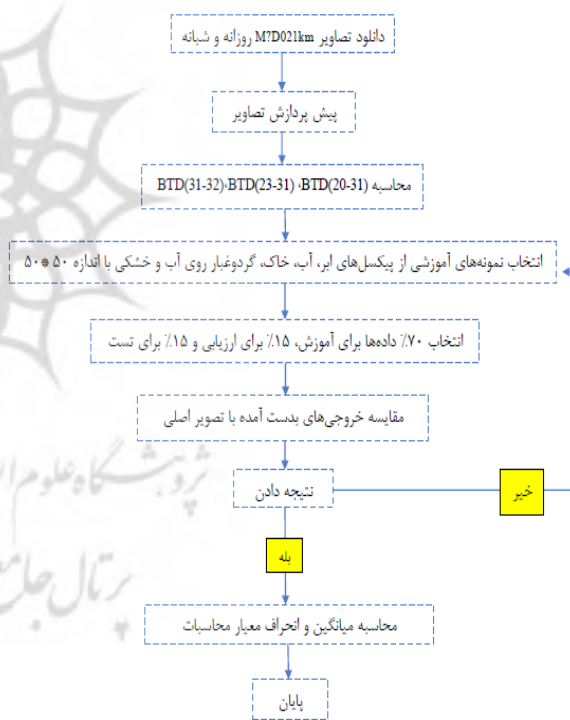
۳-۱- نتایج بارسازی گردوغبار با استفاده از شاخص (NDDI)

جهت تشخیص گردوغبار تصاویر ماهواره‌ای مودیس، ابتدا باید آستانه‌های مناسب را بررسی و در نهایت بهترین آستانه را برای دقیق‌ترین بارسازی انتخاب کرد. در نگاره ۴ یک نمونه بارسازی با ترکیب رنگی کاذب نمایش داده شده است. با مقایسه دو تصویر خاکستری^۱ و ترکیب رنگی کاذب^۲ نگاره (۴)، به وضوح مشخص است که ایجاد ترکیب رنگی کاذب، نقش مؤثری در بارسازی و تشخیص بهتر گردوغبار دارد.

۳-۲- نتایج تشخیص گردوغبار با استفاده از باندهای مادون قرمز حرارتی

معمولاً باندهای مادون قرمز حرارتی ۲۰، ۲۳، ۳۱ و ۳۲ برای تشخیص و بارسازی گردوغبار مورد نظر هستند که از داده‌های این باندها برای محاسبه دمای روشنایی آب، زمین و اتمسفر با گسیلندگی متفاوت استفاده می‌شود. اختلاف دمای روشنایی باندهای ۳۱ و ۳۲ در بسیاری از پژوهش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا گسیلندگی شن و ماسه در باند ۳۱ کمتر از باند ۳۲ است. دمای روشنایی توفان گردوغبار در باند ۳۲ بیشتر از باند ۳۱ است. به همین دلیل مقادیر منفی اختلاف این دو باند، نشانگر گردوغبار خواهد بود در صورتی که دمای روشنایی ابر و سایر سطوح، نزدیک به صفر و مثبت تر خواهد بود. جدول ۱، گسیل مندی

شده به طور تصادفی به سه دسته ۷۰٪ از داده‌های مورد استفاده در آموزش شبکه‌های عصبی و ۱۵٪ مورد استفاده برای ارزیابی و ۱۵٪ برای تست (برای تصاویر روز) تقسیم می‌شوند. FFNN شش لایه ورودی برای روز و سه لایه ورودی برای شب، ده لایه پنهان و دو لایه خروجی بود. در پژوهش حاضر، با توجه به این که دو نوع پیکسل گردوغبار یا بدون گردوغبار داریم، از آستانه ۰/۵ برای طبقه بندی خروجی شبکه استفاده شده است، با خروجی بزرگتر از ۰/۵ طبقه بندی به عنوان یک توفان گردوغبار؛ و یک خروجی کمتر یا مساوی ۰/۵ به عنوان یک توفان غیر گردوغبار است.



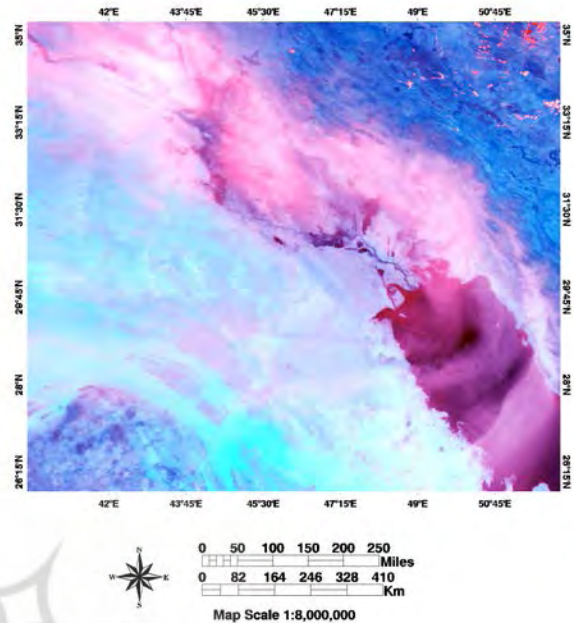
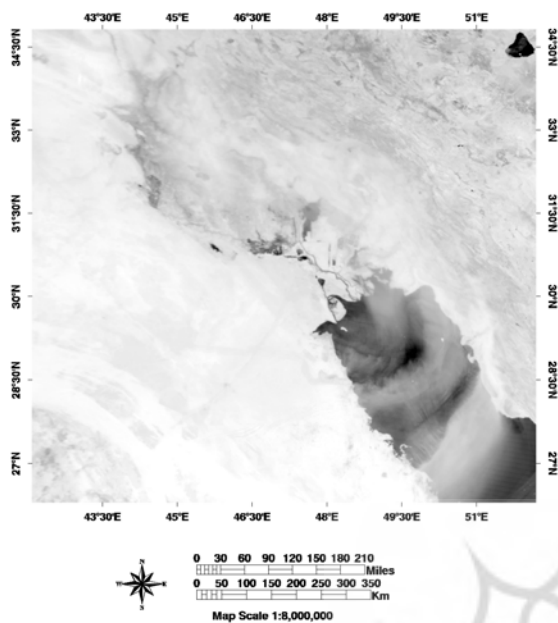
نگاره ۳: فلوجارت شبکه عصبی FFNN

به طور کلی عملکرد شبکه با مقایسه خروجی داده‌ها از آزمون با خروجی درست و محاسبه چهار پارامتر مثبت واقعی (TP)، کاذب مثبت (FP)، منفی واقعی (TN) و منفی کاذب (FN) مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس برای تعیین عملکرد پیش بینی شبکه، از اقدامات پیش بینی استاندارد

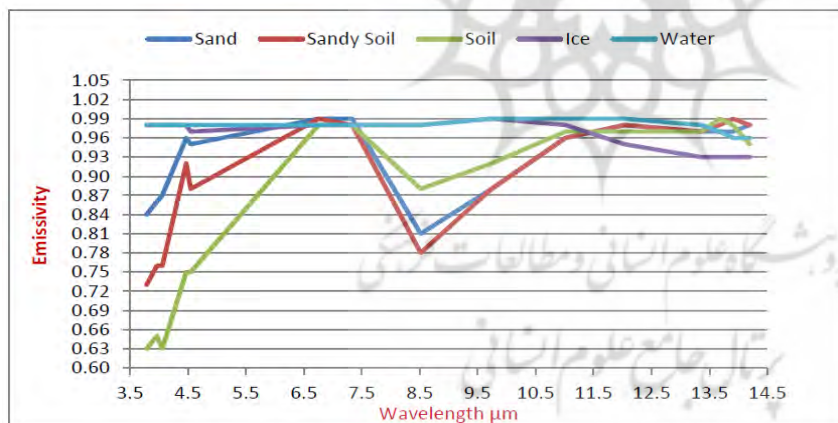
1- Gray scale

2- RGB(b3, b7, NDDI)

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)
 آشکارسازی پدیده گردوغبار جنوب غرب ایران ... / ۲۲۳



نگاره ۴: اعمال شاخص NDDI، تصویر سمت راست، تصویر band math و تصویر سمت چپ، تصویر (RGB(b3, b7, NDDI))



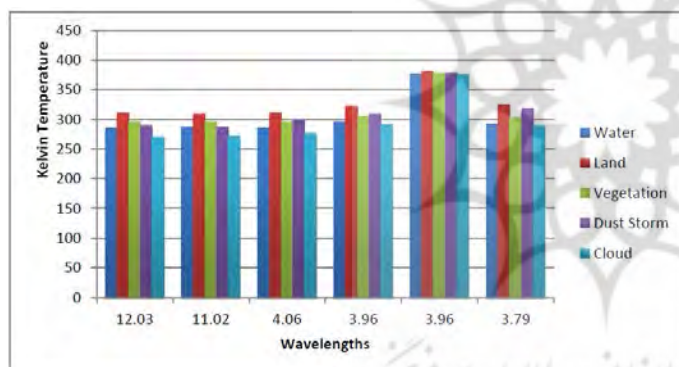
نگاره ۵: نمودار گسیل مندی داده‌های مودیس از سطوح مختلف (El-Ossta, 2013:47)

است، در حالی که گسیلمندی خاک برای دو باند ۳۱ و ۳۲ برابر (۰/۹۷) و گسیلمندی این دو باند برای آب برابر (۰/۹۹) است. همچنین، باند ۳۱ برای ابر دارای گسیلمندی (۰/۹۸) و باند ۳۲ (۰/۹۵) می‌باشد. بنابراین تفاضل دمای روشنایی (۳۱-۳۲) BTD برای بارزسازی گردوغبار از آب، یخ و خاک مفید است ولی چون میزان تفاضل گسیلمندی برای شن و ماسه و خاک شنی در این دو باند مشابه است، BTD (۳۱-۳۲) برای بارزسازی گردوغبار از خاک شنی و

باندهای حرارتی مودیس برای شن و ماسه، خاک، یخ و آب را نشان می‌دهد. باند ۲۰ و ۲۱ مودیس، طول موج مشابه ولی درجه روشنایی متفاوتی دارند. بر اساس اختلاف گسیلمندی این باندها می‌توان به بررسی دمای روشنایی پرداخت. ما در این پژوهش، از اختلاف دمای روشنایی باندهای ۲۰، ۲۳، ۳۱ و ۳۲ مودیس برای تشخیص گردوغبار استفاده می‌کنیم. نگاره ۵ و جدول ۱ نشان می‌دهد، گسیلمندی شن و ماسه در باند ۳۱ (۰/۹۶) کمی کمتر از باند ۳۲ (۰/۹۸)

جدول ۱: گسیل مندی شن و ماسه، خاک شنی، خاک، یخ و آب از داده‌های کتابخانه‌ای مودیس (El-Ossta, 2013: 47)

Band	wavelength	Sand	Sandy Soil	Soil	Ice	Water
۳۶	۱۴/۱۹۲	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۶
۳۵	۱۳/۹۰۷	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۳	۰/۹۶
۳۴	۱۳/۶۷۵	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۳	۰/۹۷
۳۳	۱۳/۳۵۹	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۹۸
۳۲	۱۲/۰۳۲	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۹
۳۱	۱۱/۰۱۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۹
۳۰	۹/۷۳۷	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۹۲	۰/۹۹	۰/۹۹
۲۹	۸/۵۱۸	۰/۸۱	۰/۷۸	۰/۸۸	۰/۹۸	۰/۹۸
۲۸	۷/۳۳۴	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸
۲۷	۶/۷۵۲	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸
۲۵	۴/۵۴۵	۰/۹۵	۰/۸۸	۰/۷۵	۰/۹۷	۰/۹۸
۲۴	۴/۴۷۲	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۷۵	۰/۹۸	۰/۹۸
۲۳	۴/۰۵۶	۰/۸۷	۰/۷۶	۰/۶۳	۰/۹۸	۰/۹۸
۲۱، ۲۲	۳/۹۶	۰/۸۶	۰/۷۶	۰/۶۵	۰/۹۸	۰/۹۸
۲۰	۳/۷۸۵	۰/۸۴	۰/۷۳	۰/۶۳	۰/۹۸	۰/۹۸



نگاره ۶: میانگین دمای روشنایی آب، زمین، گیاهان،

گردوغبار، ابر برای باندهای ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۳۱، ۳۲ و ۲۰

(El-Ossta, 2013:51)

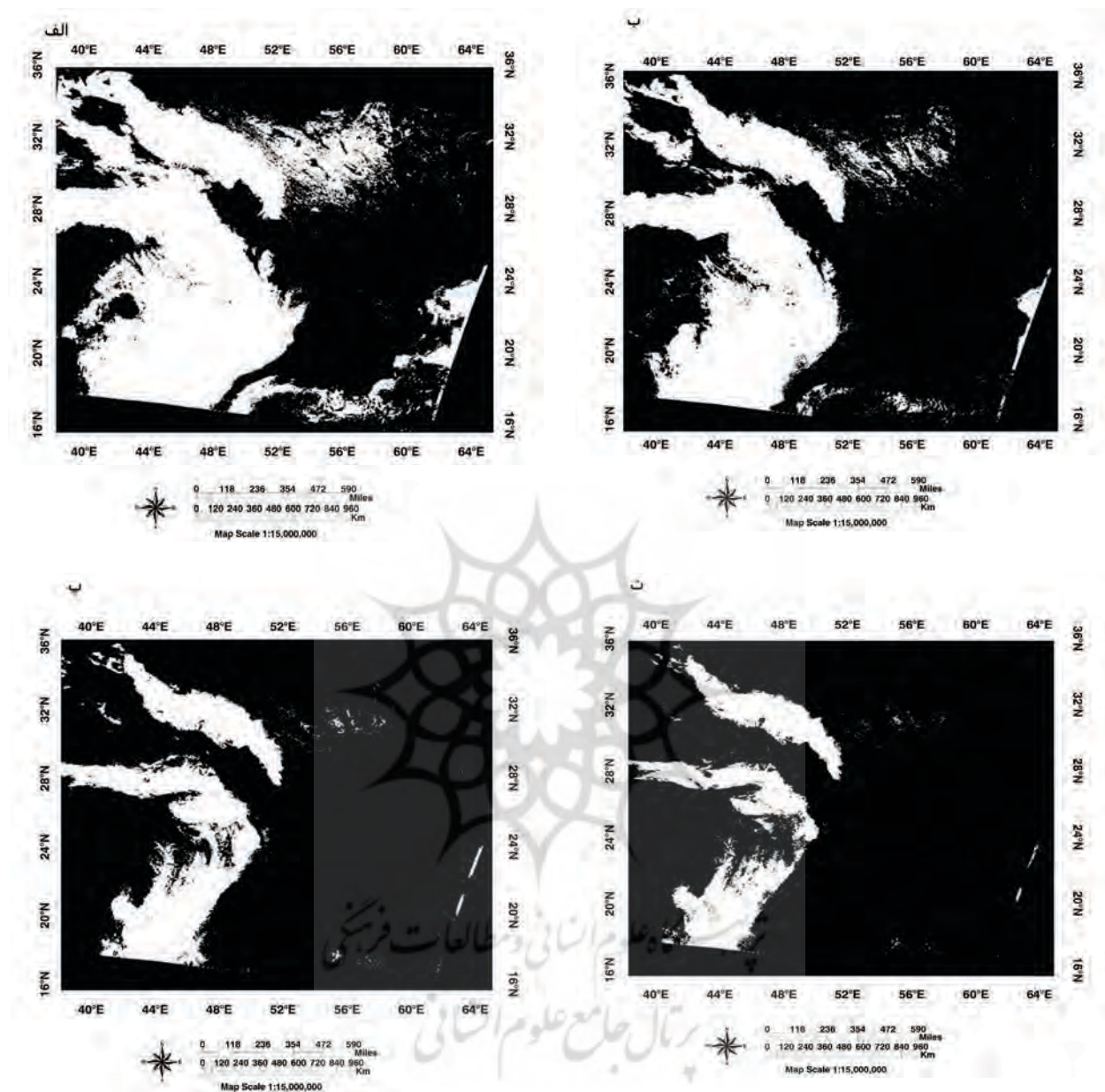
در باند ۲۳ کمتر از باند ۳۱ (۲۸۶ K، ۳۱۰ K و ۲۹۶ K به ترتیب برای آب، زمین و پوشش گیاهی) است. به این دلایل اختلاف درجه حرارت روشنایی بین باندهای ۳۱ و ۲۳ برای تشخیص گرد و غبار از زمین، پوشش گیاهی، ابر و آب مفید است (El-Ossta, 2013:51).

۳-۳- تعیین آستانه مناسب جهت بررسی پدیده‌های گردوغبار

در این پژوهش، با بررسی آستانه‌های مختلف، بهترین آستانه را متناسب با ویژگی‌های حاکم بر منطقه مورد مطالعه، انتخاب کرده و نتایج حاصل از اعمال شاخص‌های NDDI و BTd بر باندهای موردنظر، پدیده‌های گردوغبار تصاویر

ماسه‌ای چندان دقیق نخواهد بود (El-Ossta, 2013:47). همچنین، در باند ۲۳ گسیلندگی شن و ماسه (۰/۸۷)، خاک شنی (۰/۷۶) و خاک (۰/۶۳) به طور قابل توجهی، پایین‌تر از همان مقادیر در باند ۳۱ یا ۳۲ است. بنابراین از اختلاف گسیلندگی باند ۲۳ و ۳۱ برای خاک، شن، خاک شنی و آب وجود دارد که از همین اختلاف می‌توان برای بارسازی گردوغبار با سایر سطوح استفاده کرد.

نگاره ۶ نشان می‌دهد، دمای روشنایی توفان گردوغبار (۲۹۸/۴ K) و ابر (۲۷۶ K) در باند ۲۳ (۴/۶ میکرومتر) بالاتر از دمای روشنایی توفان گردوغبار (۲۸۷ K) و ابر (۲۷۱ K) در باند ۳۱ (۱۱/۰۲ میکرومتر) است، در حالی که دمای روشنایی آب (۲۸۵ K)، زمین (۳۱۰ K) و پوشش گیاهی (۲۹۵ K)

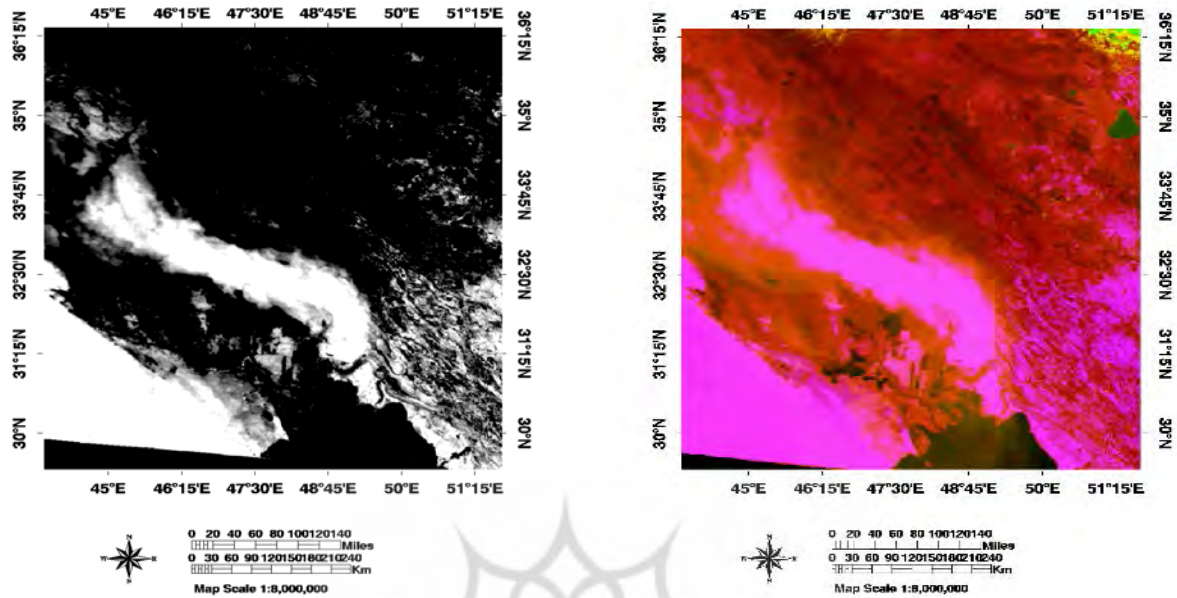


نگاره ۷: نمونه‌ای از نحوه تعیین آستانه مناسب برای بارزسازی گردوغبار: الف) $BTD(31-32) < 0$ ب) $BTD(31-32) < -0.5$ پ) $BTD(31-32) < -1$ ت) $BTD(31-32) < -1.2$

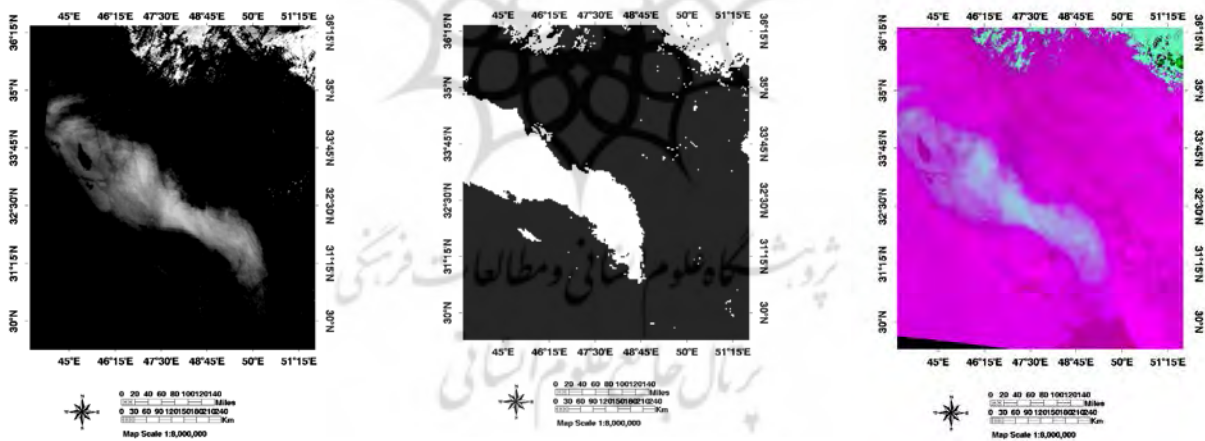
(RGB143) به تشخیص بهتر پدیده‌ها و تمایز آن‌ها با گردوغبار پرداخت. سپس با محاسبه دمای روشنایی و تفاضل BTD باندهای مورد نظر، به تشخیص گردوغبار پرداخته شد. نگاره (۸) تصویر روزانه، مربوط به تاریخ ۳۰ خردادماه ۱۳۹۱ شمسی (۲۰۱۲ / ۰۶ / ۱۹) گرفته شده از سنجنده مودیس ماهواره ترا می‌باشد. غلظت گردوغبار در این

مودیس را نمایش می‌دهیم. نگاره ۷، نمونه‌ای از تعیین آستانه مناسب مربوط به تصویر ۲۰۰۸/۰۷/۰۱ را نشان می‌دهد.

۳-۴- نتایج بررسی پدیده‌های گردوغبار تصاویر روزانه برای بررسی گردوغبار تصاویر روزانه، ابتدا باید تصاویر را زمین‌مرجع کرد، سپس با ایجاد ترکیب رنگی حقیقی

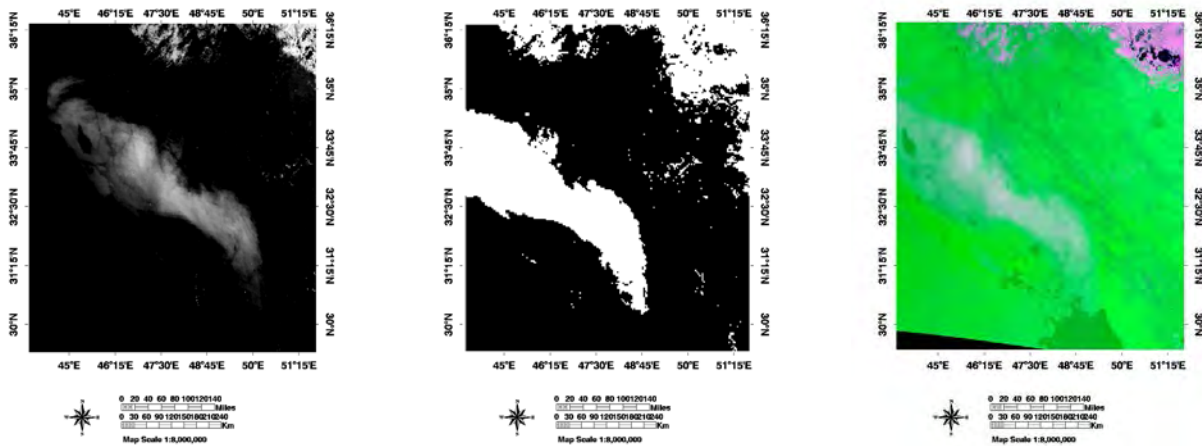


نگاره ۸: اعمال شاخص NDDI به ترتیب از راست به چپ، تصویر باینری با آستانه $(NDDI > 0.1)$ ، ترکیب رنگی کاذب

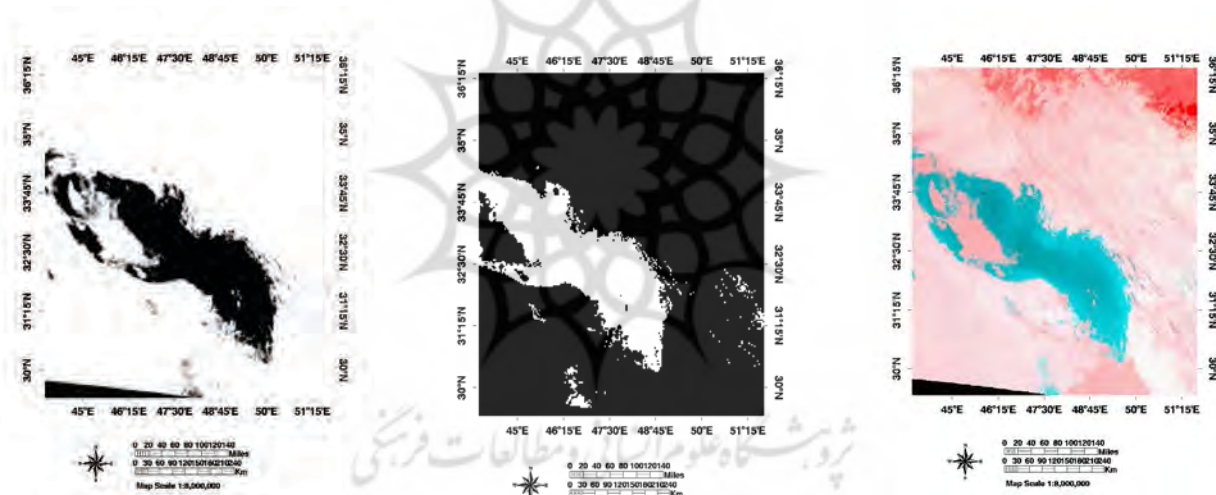


نگاره ۹: اعمال شاخص $BTD(20-31)$ به ترتیب از راست به چپ، ترکیب رنگی کاذب، تصویر باینری MATLAB،
 تصویر باینری ENVI، آستانه $BTD(20-31) > 20$

تصویر زیاد بود و با اعمال الگوریتم‌ها، بارسازی به خوبی انجام شد.
 براساس نتایج پیکسل‌های بارسازی شده گردوغبار، $BTD(20-31) > 6$ با $71/41$ درصد و $BTD(31-32) < (-1)$ با $69/89$ درصد پیکسل‌ها برابر با آستانه بود.
۳-۵- نتایج ارزیابی شاخص‌های BTD
 برای ارزیابی عملکرد شاخص‌ها، از بین ۲۰ تصویر بررسی شده برای روز، نمونه‌هایی از پدیده‌های زمین (خاک)، آب، ابر، گردوغبار روی خشکی و آب با ابعاد 50×50 مربوط به ۱۰ تصویر غبارآلود را انتخاب می‌کنیم. به عبارتی، برای هر تصویر ۱۵ نمونه از پدیده‌های مورد نظر مربوط به



نگاره ۱۰: اعمال شاخص $BTD(23-31)$ به ترتیب از راست به چپ، ترکیب رنگی کاذب، تصویر باینری MATLAB، تصویر باینری ENVI، آستانه $BTD(23-31) > 6$



نگاره ۱۱: اعمال شاخص $BTD(31-32)$ به ترتیب از راست به چپ، ترکیب رنگی کاذب، تصویر باینری MATLAB، تصویر باینری ENVI، آستانه $BTD(31-32) < -1$

می‌دهد شاخص BTD با ۴۳٪ دقت و عملکرد نسبتاً خوبی داشته‌است که هرچه آستانه دقیق‌تر انتخاب شود، دقت بارزسازی افزایش می‌یابد. انحراف معیار به معنی پراکندگی داده‌ها از میانگین می‌باشد که هر کوچکتر باشد، نشانگر عملکرد بهتر شاخص خواهد بود.

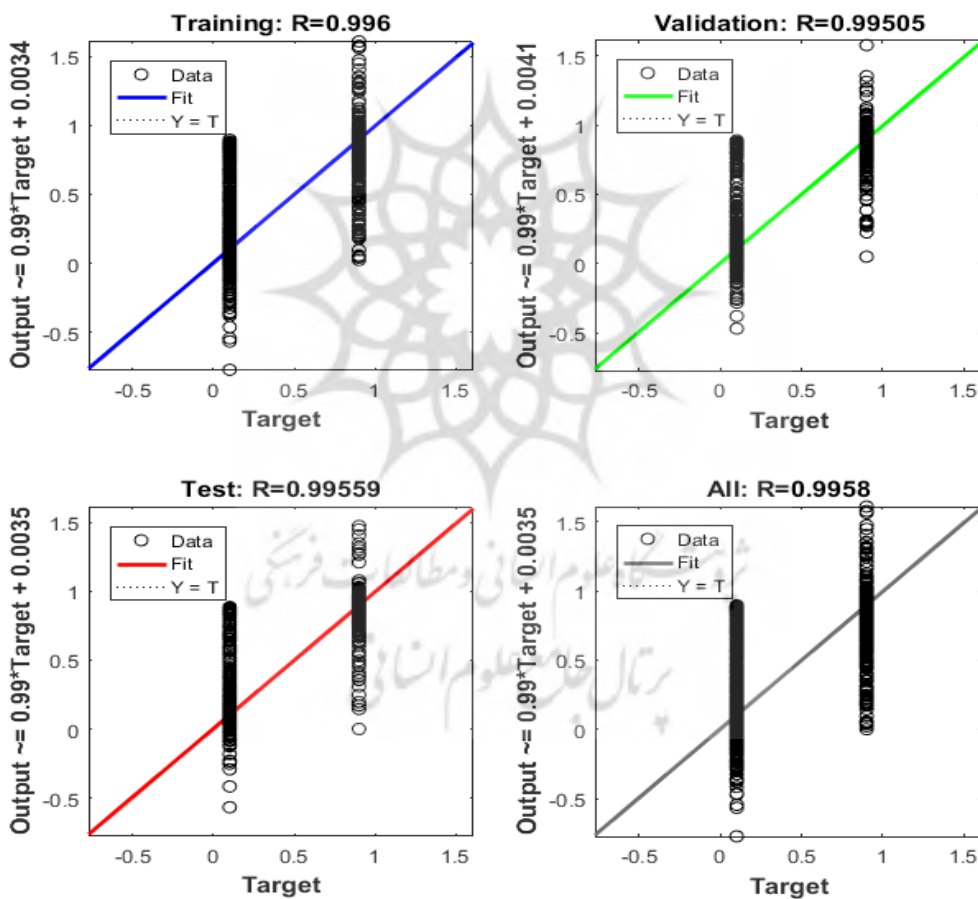
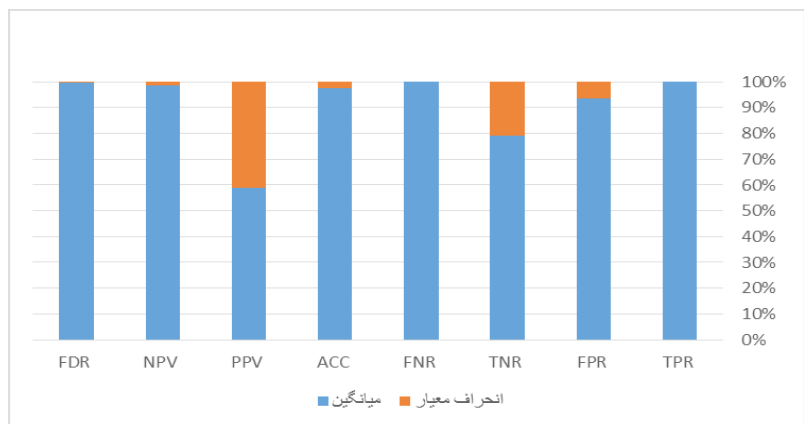
$BTD(20-31)$ ، $BTD(23-31)$ و $BTD(31-32)$ و در کل ۱۵۰ نمونه خواهیم داشت. ۱۵۰ نمونه را به دو دسته تقسیم کرده و با اجرای کد ارزیابی شاخص‌ها، عملکرد و دقت را مورد بررسی قرار می‌دهیم. نتایج در نگاره (۱۲) و جدول (۲)، نشان داده شده است.

۳-۶- تست شبکه عصبی تصاویر روزانه

در این پژوهش جهت اجرای شبکه عصبی پیشخور FFNN از ۲۵۰۰۰۰ مجموعه داده از ۲۰ تصویر روزانه،

پارامترهای ارزیابی، مستقل از هم نیستند و مکمل هم می‌باشند. در روش تشخیص گردوغبار با استفاده از شاخص BTD ، تعیین آستانه متناسب با منطقه، نقش مهمی در بارزسازی گردوغبار دارد. مقدار پارامتر ACC نشان

نگاره ۱۲: نتایج میانگین و انحراف معیار ارزیابی شاخص‌های BTD پس از دو بار



نگاره ۱۳: نمودار ضریب همبستگی (R) برای داده‌های کل، آموزش، ارزیابی و تست تصاویر روزانه

همراه با شش لایه ورودی، ۱۰ نورون در لایه پنهان، دو لایه خروجی استفاده شد. برای بررسی عملکرد و کارایی شبکه عصبی، دو دسته شاخص ضریب همبستگی (R) و شاخص‌های مقدار خطا (MSE) مورد استفاده قرار می‌گیرند (یوسفی و همکاران، ۲۴۳:۱۳۹۴).
 نگاره (۱۳) نمودارهای میزان ضریب همبستگی را نشان

جدول ۲: نتایج میانگین و انحراف معیار ارزیابی شاخص‌های BTD پس از دو بار

FDR	NPV	PPV	ACC	FNR	TNR	FPR	TPR	
۰/۹۹۵۷	۰/۵۱۹۴	۰/۰۰۴۳	۰/۴۳۲۶	۰/۹۹۸۲	۰/۷۱۹۴	۰/۲۸۰۶	۰/۰۰۱۸	میانگین
۰/۰۰۳	۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۳	۰/۰۱۱۲	۰	۰/۱۸۸۰	۰/۰۱۸۸	۰	انحراف معیار

ورودی از درون شبکه عبور می‌کند و Error کلی را می‌سازد، به کمک آن خطا، ضرایب وزنی تصحیح می‌شود که به این فرایند، تعداد تکرار یا Epoch می‌گویند. بنابراین همان‌طور که در نگاره ۱۴ نشان داده شده، پس از ۱۵۱ مرحله تکرار، به پایان آموزش می‌رسیم. نتیجه نمودار رضایت‌بخش است زیرا خطا روی مجموعه آزمایش، ارزیابی و تست دارای خصوصیات مشابهی می‌باشد.

می‌دهد. ضریب همبستگی داده‌های آموزش، ارزیابی، تست و کل به ترتیب برابر با $R=0/99559$ ، $R=0/99505$ ، $R=0/996$ و $R=0/9958$ عملکرد مناسب شبکه را نشان می‌دهد. داده‌ها به دو کلاس گردوغبار (۰/۹) و بدون گردوغبار (۰/۱) تقسیم می‌شوند. به همین دلیل، نمودار به این شکل ایجاد شده است. در واقع ورودی‌های متفاوتی به شبکه وارد و به دو کلاس گردوغبار و بدون گردوغبار تقسیم می‌شوند.

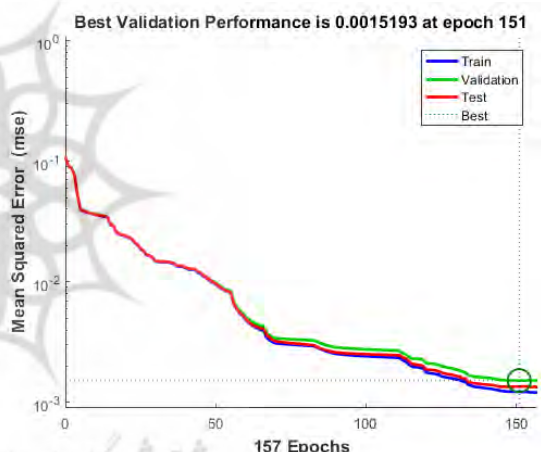
۳-۷- ایجاد ماسک توفان گردوغبار با استفاده از شبکه عصبی تصاویر روزانه

پس از آموزش و تست شبکه، برای ایجاد یک ماسک گردوغبار، از روش شبکه عصبی تغذیه‌ای پیشرو (FFNN) استفاده می‌شود. بدین منظور با کدنویسی در نرم‌افزار MATLAB و فراخوانی تصاویر مورد نظر، به تشخیص خودکار گردوغبار در اکوسیستم‌های آبی و خشکی خواهیم پرداخت. نگاره (۱۵) نتایج حاصل از ماسک گردوغبار را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج تصاویر خروجی شبکه عصبی، ملاحظه می‌شود که گردوغبار به خوبی در هر دو اکوسیستم آبی و خشکی بارزسازی شده و هر چه غلظت و تراکم گردوغبار بیشتر باشد، بارزسازی بهتر انجام خواهد شد.

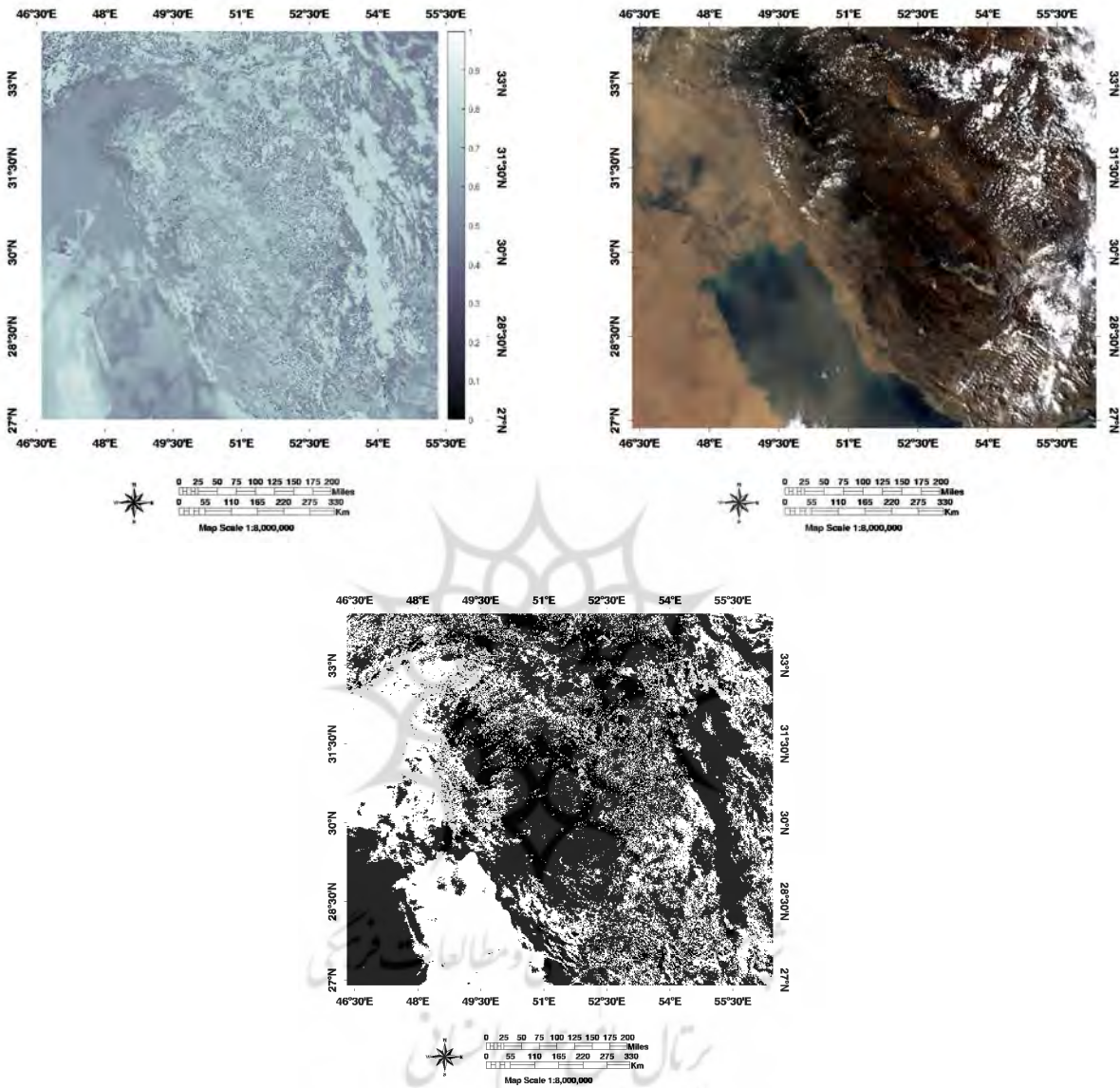
۳-۸- نتایج ارزیابی شبکه عصبی برای تصاویر روزانه

برای ارزیابی شبکه، ۷۰٪ نمونه تصاویر برای آموزش و ۳۰٪ نمونه تصاویر برای تست انتخاب می‌شوند. به عبارتی دیگر از بین ۶۰۰ نمونه تصاویر مربوط به ۲۰ روز غبارآلود، ابتدا باید ۵۱۰ نمونه تصویر از پدیده‌های زمین، آب، ابر، گردوغبار روی خشکی و آب مربوط به ۱۷ روز را برای آموزش شبکه و ۹۰ نمونه تصویر از پدیده‌های ذکر شده را



نگاره ۱۴: نمودار کارایی (خطا) شبکه عصبی بر سه مجموعه داده آموزش، ارزیابی و تست تصاویر روزانه

نگاره ۱۴ بیانگر دقت و عملکرد آموزش است. که روند خطای میانگین مربعات (MSE) شبکه را نشان می‌دهد. خطا از یک مقدار بزرگ آغاز شده و به تدریج کاهش می‌یابد که این به معنای پیشرفت روال یادگیری شبکه است. این نمودار شامل سه خط است که به سه مجموعه آموزشی (۷۰ درصد داده‌ها)، ارزیابی (۱۵ درصد داده‌ها) و تست (۱۵ درصد داده‌ها) اختصاص دارد. Epoch به هر مرحله از تصحیح داده‌ها گفته می‌شود. به عبارتی دیگر، زمانی که یک



نگاره ۱۵: به ترتیب از راست به چپ، RGB143، تصویر خاکستری، ماسک گردوغبار (۱۳۸۶/۱۰/۱۱)

برای تست انتخاب کرد و با استفاده از کدهای مربوطه، به آموزش و تست شبکه پرداخت. ما در پژوهش حاضر، این مراحل را ده بار انجام دادیم و در آخر، میانگین و انحراف معیار را بدست آوردیم. نتایج در جدول (۳) و نگاره (۱۶) نشان داده شده است.

پارامترهای ارزیابی، مستقل از هم نیستند و مکمل هم می‌باشند. نتایج جدول و نمودار چهار پارامتر TPR، FPR، TNR و FNR نشان می‌دهد، کلاس‌بندی پارامترها نسبتاً درست انجام شده و طبیعی است که هر چه نمونه تصاویر انتخاب شده از پدیده‌های آب، ابر، زمین، گردوغبار روی آب و خشکی دقیق‌تر و با ابعاد بزرگتر از ۵۰*۵۰ انتخاب شود، شبکه عصبی بهتر آموزش دیده و عملکرد بهتری خواهد داشت. مقدار پارامتر ACC نشان می‌دهد شبکه عصبی با ۶۰٪، دقت و عملکرد خوبی داشته است

برای تست انتخاب کرد و با استفاده از کدهای مربوطه، به آموزش و تست شبکه پرداخت. ما در پژوهش حاضر، این مراحل را ده بار انجام دادیم و در آخر، میانگین و انحراف معیار را بدست آوردیم. نتایج در جدول (۳) و نگاره (۱۶) نشان داده شده است.

پارامترهای ارزیابی، مستقل از هم نیستند و مکمل هم می‌باشند. نتایج جدول و نمودار چهار پارامتر TPR،

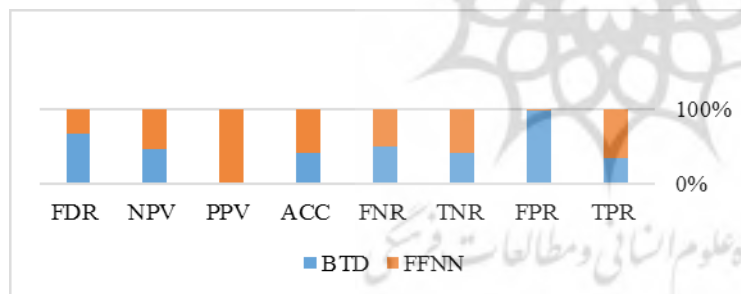
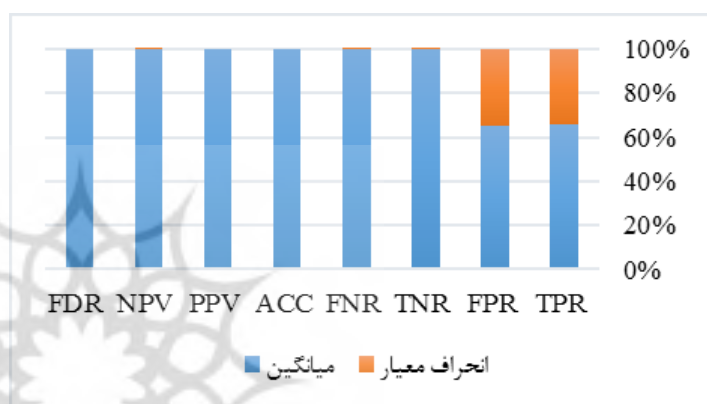
جدول ۳: نتایج میانگین و انحراف معیار محاسبه شده پس از آموزش و تست شبکه عصبی پس از ده بار تصاویر روزانه

	FDR	NPV	PPV	ACC	FNR	TNR	FPR	TPR	
میانگین	۰/۵۰۰۰	۰/۶۰۰۲	۰/۵۰۰۰	۰/۶۰۰۰	۰/۹۹۷۲	۰/۹۹۸۲	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۳۵	
انحراف معیار	۰	۰/۰۰۰۲	۰	۰	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۱۸	

جدول ۴: مقایسه ارزیابی دو روش شاخص‌های BTD و شبکه عصبی مصنوعی پیشرو (FFNN)

روش	FDR	NPV	PPV	ACC	FNR	TNR	FPR	TPR
BTD	۰/۹۹۵۷	۰/۵۱۹۴	۰/۰۰۴۳	۰/۴۳۲۶	۰/۹۹۸۲	۰/۷۱۹۴	۰/۲۸۰۶	۰/۰۰۱۸
FFNN	۰/۵۰۰۰	۰/۶۰۰۲	۰/۵۰۰۰	۰/۶۰۰۰	۰/۹۹۷۲	۰/۹۹۸۲	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۳۵

نگاره ۱۶: نمودار نتایج میانگین و انحراف معیار محاسبه شده پس از آموزش و تست شبکه عصبی پس از ده بار



نگاره ۱۷: مقایسه ارزیابی دو روش شاخص‌های BTD و شبکه عصبی مصنوعی پیشرو (FFNN)

که هرچه تعداد تصاویر بیشتر و دقیق‌تری جهت آموزش شبکه عصبی نیازی به تعیین آستانه برای بررسی هر تصویر ندارد. تشخیص و طبقه‌بندی پدیده‌ها در روش دوم، با دقت بیشتری انجام شده است.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

به دلیل موقعیت جغرافیایی ایران و قرار گیری در کمربند خشک و نیمه خشک، گردوغبار با منشاء داخلی و خارجی در سال‌های اخیر خسارات زیادی را به کشور عزیزمان وارد آورده است. در این میان شهرها و مراکز جمعیتی نزدیک به منشاء، بیشترین ریسک و احتمال خسارت فیزیکی قابل لمس ناشی از توفان گردوغبار را دارا می‌باشند. هرچند

شبهه انتخاب شود، دقت شبکه افزایش می‌یابد. همچنین، هر چه مقادیر سه پارامتر FDR و NPV، PPV متناسب‌تر باشد، شبکه عصبی پیش‌بینی بهتری برای گردوغبار خواهد داشت. انحراف معیار به معنی پراکندگی داده‌ها از میانگین می‌باشد که هر کوچکتر باشد، نشانگر عملکرد بهتر شبکه خواهد بود. جدول (۴) نتایج ارزیابی شاخص‌های BTD و شبکه عصبی مصنوعی پیشرو (FFNN) را نشان می‌دهد.

نتایج نمودار (نگاره ۱۷) و جدول (۴) نشان می‌دهد، شبکه عصبی با ۶۰٪ نسبت به شاخص BTD با ۴۳٪، روش مناسب‌تری برای تشخیص و بارسازی گردوغبار است و

آستانه مناسب برای هر تصویر، می‌توان به تشخیص بهتر گردوغبار پرداخت. طبق نتایج پژوهش حاضر، نتایج اعمال شاخص BTD در پژوهش حاضر، از نظر عملکرد مناسب جهت تشخیص و بارزسازی گردوغبار با پژوهش‌های (کریمی و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۷)، (شمسی‌پور و صفراء، ۱۳۹۰: ۱۱۱)، (تقوی و همکاران، ۱۳۹۲: ۹۱)، (فلاح ززولی و همکاران، ۱۳۹۳: ۷۰)، (Komeilian et al., 2014: 704)، (Samadi et al., 2014: 9)، (محمدی مرادیان و حسین‌زاده، ۱۳۹۴: ۴۵)، (Taheri Shahraiyani et al., 2015: 2099)، (Taghavi et al., 2017: 5)، (خیراندیش و همکاران، ۱۳۹۷: ۶۳)، (Zhang et al., 2015: 15) و (Yang et al., 2017: 318) مطابقت دارد.

در پژوهش حاضر، شبکه عصبی مصنوعی پیشرو برای تصاویر روزانه با ۶۰٪ دقت و عملکرد نسبتاً خوبی را نشان می‌دهد. همچنین، در پژوهش‌های متعددی مانند شهریسوند و همکاران (۱۳۹۳)، برای سه پدیده گردوغبار با دقت‌های ۶۷/۳٪، ۷۴/۶٪ و ۶۳/۴٪، عطایی و همکاران (۱۳۹۴)، با دقت ۵۸٪ بر روی سطوح روشن و دقتی معادل ۵۳٪ برای سطوح تاریک و ایل‌اوستا با دقتی حدود ۹۹٪ با استفاده از روش شبکه عصبی، به تشخیص و بارزسازی گردوغبار پرداختند. به طور کلی، از تجزیه و تحلیل نتایج ارزیابی شبکه عصبی می‌توان نتیجه گرفت که اگر نمونه‌های آموزشی با دقت و تعداد بیشتر و ابعاد بزرگتر از ۵۰*۵۰ انتخاب شود، عملکرد و دقت شبکه افزایش می‌یابد که با نتایج پژوهش‌های (کمیلیان، ۱۳۹۲: ۸۵)، (شهریسوند و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۳۱)، (خوش‌سیما و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۹۹)، (یوسفی و کاشی زنون، ۱۳۹۴: ۲۴۹)، (El-Ossta, 2013: 82) و (Xiao et al., 2015: 10) مطابقت دارد.

نتایج این تحقیق می‌تواند در راستای تشخیص خودکار گردوغبار در طول روز و شب و در اکوسیستم‌های آبی و خشکی مورد استفاده قرار گیرد، همچنین با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور می‌توان اقدام به شناسایی مناطق منشاء ذرات گردوغبار و نحوه پخش آن کرد و جهت ردیابی مناطق گردوغبار، پارامترهای مناسب قابل استخراج را از روی تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس شامل اختلاف

مسئله وقوع توفان گردوغبار اجتناب‌ناپذیر است اما تشدید این پدیده محیط‌زیستی در سال‌های اخیر به ویژه مناطق غربی و جنوب‌غربی ایران می‌تواند بنا به دلایل طبیعی و انسانی باشد. بنابراین بررسی روش‌های تشخیص و بارزسازی، شناسایی منشاء، کنترل و جلوگیری از اقدامات نادرست انسانی، امری ضروری است. تاکنون پژوهش‌های زیادی راجع به گردوغبار در سطح جهان انجام شده است. هدف ما در این پژوهش، تشخیص خودکار گردوغبار با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس ماهواره‌های آکوا و ترا می‌باشد. به طور کلی، نتایج مطالعات صورت گرفته در ایران و جهان، بیانگر عملکرد مناسب باندهای حرارتی مودیس جهت تشخیص غبار است و ترکیب باندهای حرارتی به همراه باندهای انعکاسی نتایج خوبی را ارائه می‌دهند. ما نیز در پژوهش حاضر، از دو شاخص NDDI و BTD استفاده کردیم. نتایج حاصل از اعمال شاخص NDDI نشان می‌دهد، این پارامتر به تنهایی قادر به تفکیک پیکسل‌های گردوغبار موجود در اتمسفر از پیکسل‌های غیرگردوغبار و ماسه زمینی نبوده و در تصاویری که ابر یا آب وجود داشته باشد، عملکرد ضعیفی دارد. به نظر می‌رسد که این کارایی پایین به ویژگی‌های سطح زمین از قبیل کاربری، پوشش اراضی، تفاوت‌های توپوگرافی و همچنین خصوصیات شیمیایی کانی‌های گردوغبار منطقه مربوط می‌شود که با نتایج پژوهش‌های (Qu et al., 2006: 486)، (مهرابی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱) و (کمیلیان، ۱۳۹۲: ۶۰) مطابقت دارد.

برای استفاده از شاخص BTD، باندهای ۱، ۴، ۳ جهت ایجاد ترکیب رنگی حقیقی برای تصاویر روزانه و تفاضل دمای روشنایی باندهای حرارتی ۲۰، ۲۳، ۳۱ و ۳۲ برای تصاویر روزانه استفاده شد.

ایجاد ترکیب رنگی حقیقی، تشخیص بصری گردوغبار را راحت‌تر می‌کند که در پژوهش‌های متعدد از جمله کریمی و همکاران (۱۳۹۰) و زینالی (۱۳۹۲) نیز از این روش استفاده شده است. علاوه بر این، با اعمال تفاضل باندهای حرارتی (۲۰-۳۱) BTD، (۲۳-۳۱) BTD و (۳۱-۳۲) BTD و تعیین

خلیج فارس، مجله علوم و فنون دریایی خرمشهر، ۱۴(۴): ۷۵-۸۳.

۸- سهراب زهی، حلیمه (۱۳۹۴) بررسی تطبیقی رویدادهای گرد و غباری در شرق و غرب ایران، نوری، غلامرضا، دانشگاه سیستان و بلوچستان، گروه جغرافیای طبیعی.

۹- شمسی پور، صفرزاد؛ علی اکبر، طاهر (۱۳۹۰) تحلیل ماهواره‌ای - همدیدی پدیده گردوغبار (گردوغبار تیرماه ۱۳۸۸)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۴(۱): ۱۱۱-۱۲۶.

۱۰- شهریسوند، آخوندزاده هنزائی، سوری؛ محسن، مهدی، امیرحسین (۱۳۹۳). شناسایی گردوغبار در تصاویر ماهواره‌ای MODIS با استفاده از روش‌های ماشین‌بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم‌گیری. نشریه علمی-پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری، ۴(۳): ۱۳۱-۱۴۴.

۱۱- عطایی، محمدزاده، آبکار؛ شیما، علی، علی اکبر (۱۳۹۳) شناسایی گردوغبار با استفاده از روش درخت تصمیم‌گیری از تصاویر سنجنده مودیس، نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، ۴(۴): ۱۵۱-۱۶۰.

۱۲- طاوسی، خسروی، رئیس‌پور؛ تقی، محمود، کوهزاد (۱۳۸۹) تحلیل همدیدی سامانه‌های گردوغباری در استان خوزستان، مجله جغرافیا و توسعه، ۸(۲۰): ۹۷-۱۱۸.

۱۳- فرهادی، محمدعسگری، دادالهی سهراب، ناظم السادات، خزائی؛ سعید، حسین، علی، سیدمحمدجعفر، حسین (۱۳۹۵) تخمین عمق نوری ریزگردها با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در سطح خلیج فارس، مجله محیط شناسی، ۴۲(۳): ۵۸۳-۶۰۴.

۱۴- فلاح ززولی، وفایی نژاد، خیرخواه زرکش، احمدی دهکاء؛ محمد، علیرضا، میرمسعود، فربرز (۱۳۹۳) پایش و تحلیل سینوپتیکی پدیده گردوغبار با استفاده از سنجنش از دور و GIS (مطالعه موردی: گردوغبار ۱۸ ژوئن ۲۰۱۲).

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۲۳ (۹۱): ۸۰-۶۹.

۱۵- کریمی، طاهری شهرآئینی، حبیبی نوخندان، حافظی

دمای روشنایی (BTD) در باندهای مادون قرمز حرارتی، پارامتر D (تلفیق باندهای حرارتی و انعکاسی) و شاخص نرمال‌شده گردوغبار (NDDI) محاسبه کرد.

منابع و مأخذ

۱- برتینا، هدایت الله (۱۳۹۱)، امکان‌سنجی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای جهت تخمین غلظت گردوغبار و اندازه‌گیری غلظت سرب و روی، صیاد، غلام‌عباس؛ متین‌فر، علیرضا، دانشگاه شهید چمران اهواز، گروه خاک‌شناسی.

۲- تقوی، اولاد، صفرزاد، ایران‌نژاد؛ فرهنگ، الهه، طاهر، پرویز، (۱۳۹۲) تشخیص و پایش توفان گردوغبار غرب ایران با استفاده از روش‌های سنجنش از دور، مجله‌ی فیزیک زمین و فضا، ۷۶(۳): ۹۶-۸۳.

۳- خالدی، کوهسار (۱۳۹۲) زیان‌های اقتصادی توفان گردوغبار بر استان‌های غربی ایران (مطالعه‌ی موردی: ایلام، خوزستان و کرمانشاه)، فصلنامه مدل‌سازی اقتصادی، ۷(۳): ۱۰۵-۱۲۵.

۴- خوش‌سیمما، ثابت‌قدم، علی‌اکبری بیدختی؛ مسعود، سمانه، علی‌اکبر (۱۳۹۴) تخمین تمرکز ذرات معلق (PM10) در جو با استفاده از داده‌های سنجنش از دور ماهواره‌ای و زمین‌پایه و پراسنج‌های هواشناختی: کاربست شبکه عصبی مصنوعی، مجله فیزیک زمین و فضا، ۴۱(۳): ۴۹۹-۵۱۰.

۵- خیراندیش، بداق جمالی، رایگانی؛ زهرا، جواد، بهزاد (۱۳۹۷) شناسایی بهترین الگوریتم شناسایی گردوغبار به کمک داده‌های مودیس، مجله مخاطرات محیط طبیعی، ۷(۱۵): ۲۰۵-۲۱۸.

۶- زینالی، بتول (۱۳۹۲) شناسایی و پایش توفان‌های شاخص گردوغباری ایران با استفاده از سنجنده‌های MODIS و AVHRR، جهان‌بخش اصل، سعید، دانشگاه تبریز، گروه جغرافیای طبیعی.

۷- سلیمانی، محمدعسگری، دادالهی سهراب، علمی‌زاده، خزائی؛ آرزو، حسین، علی، هیوا، حسین (۱۳۹۴) ارزیابی عمق اپتیکی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای MODIS در

- homogenized remote sensing data. *Aeolian Research*, 21, 93-107.
- 24- Qu, J. J., Hao, X., Kafatos, M., Wang, L. (2006). Asian dust storm monitoring combining Terra and Aqua MODIS SRB measurements. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, 3(4): 484-486.
- 25- Samadi, M., Bolorani, A. D., Alavipanah, S. K., Mohamadi, H., & Najafi, M. S. (2014). Global dust Detection Index (GDDI); a new remotely sensed methodology for dust storms detection. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12(1), 20.
- 26- Taghavi, F., Oowlad, E., & Ackerman, S. A. (2017). Enhancement and identification of dust events in the south-west region of Iran using satellite observations. *Journal of Earth System Science*, 126(2), 28.
- 27- Taheri Shahraini, H. T., Karimi, K., Nokhandan, M. H., & Moghadas, N. H. (2015). Monitoring of dust storm and estimation of aerosol concentration in the Middle East using remotely sensed images. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(4), 2095-2110.
- 28- Xiao, F., Wong, M. S., Lee, K. H., Campbell, J. R., & Shea, Y. K. (2015). Retrieval of dust storm aerosols using an integrated Neural Network model. *Computers & Geosciences*, 85, 104-114.
- 29- Yang, Y., Sun, L., Zhu, J., Wei, J., Su, Q., Sun, W., ... & Shu, M. (2017). A simplified Suomi NPP VIIRS dust detection algorithm. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 164, 314-323.
- 30- Zhang, B., Tsunekawa, A., & Tsubo, M. (2015). Identification of dust hot spots from multi-resolution remotely sensed data in eastern China and Mongolia. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226(4), 117.
- 31- Zhao, T. X. P., Ackerman, S., & Guo, W. (2010). Dust and smoke detection for multi-channel imagers. *Remote Sensing*, 2(10), 2347-2368.
- مقدس؛ خدیجه، حمید، مجید، ناصر (۱۳۹۰) شناسایی خواستگاه‌های توفان‌های گردوغبار در خاورمیانه با استفاده از سنجش از دور، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۲ (۷) و ۸: ۷۲-۵۷.
- ۱۶- کمیلیان، حسین (۱۳۹۲) مدل‌سازی توده‌های گردوغبار با استفاده از داده‌های سنجش از دور، گنجی دوست، حسین، دانشگاه تربیت مدرس، گروه مهندسی محیط زیست.
- ۱۷- محمدی مرادیان، حسین‌زاده؛ جمیله، سیدرضا (۱۳۹۴). پایش ماهواره‌ای و تحلیل همدید پدیده‌ی گردوغبار در کلان‌شهر مشهد طی دوره آماری ۲۰۱۳-۲۰۰۹. *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۴: ۵۷-۳۵.
- ۱۸- مهربانی، جعفری، سلطانی کویانی؛ شهباز، رضا، سعید (۱۳۹۴) بررسی کارایی شاخص NDDI در پهنه‌بندی توفان گردوغبار (مطالعه موردی: استان خوزستان)، *مجله علمی-پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۴ (۸): ۱۰-۱.
- ۱۹- یوسفی، کاشی زنوزی؛ محسن، لیلا (۱۳۹۴) تعیین مناسب‌ترین روش ترکیب ورودی شبکه عصبی مصنوعی به منظور تعیین عوامل باد بر پیش‌بینی پدیده توفان گردوغبار (مطالعه موردی: استان یزد)، *فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۲ (۲): ۲۵۰-۲۴۰.
- 20- El-Ossta, E. E. (2013). Automated dust storm detection using satellite images. Development of a computer system for the detection of dust storms from MODIS satellite images and the creation of a new dust storm database (Doctoral dissertation, University of Bradford).
- 21- Komeilian, H., Ganjidoust, H., & Khodadadi, A. (2014). Parametric analysis for dust plumes modeling using MODIS data over Khuzestan Province, Iran. *environment*, 2(3), 6.
- 22- Li, X., & Song, W. (2009, September). Dust storm detection based on Modis Data. In *International Conference on Geo-spatial Solutions for Emergency Management and the 50th Anniversary of the Chinese Academy of Surveying and Mapping* (pp. 169-172).
- 23- Nabavi, S. O., Haimberger, L., & Samimi, C. (2016). Climatology of dust distribution over West Asia from