

## پیش‌بینی غلظت گرد و غبار در مقیاس آزمایشگاهی با استفاده از فناوری‌های پردازش تصویر و هوش مصنوعی

حمیدرضا ارجمندی<sup>۱</sup>، کامران خیرعلی‌پور<sup>۲</sup> و علی عمارلویی<sup>۳</sup>

### چکیده

گرد و غبار یکی از مسائل زیست‌محیطی است که دارای اثرات نامطلوبی در همه بخش‌های کشاورزی و منابع طبیعی است. هدف از تحقیق حاضر پیش‌بینی غلظت گرد و غبار در هوا است. یک سامانه آزمایشگاهی برای گرفتن تصاویر از گرد و غبار شامل اتاقک شیشه‌ای، دمنده، غبارسنج، دوربین تصویربرداری و رایانه پیاده‌سازی شد. با استفاده از خاک رس طوفان گرد و غبار با غلظت‌های مختلف از ۰، ۲۷۵، ۱۲۸۹، ۱۸۹۶، ۲۳۱۶، ۲۵۸۵ و ۲۷۵۰ میکروگرم بر مترمکعب در داخل اتاقک شیشه‌ای ایجاد شد. برای هر غلظت گرد و غبار، ۱۵ تصویر به دست آمد و پس از پیش‌پردازش آن‌ها، میانگین کانال‌های مختلف تصاویر در فضاهاى مختلف رنگی استخراج شد. از ویژگی‌های تصاویر برای پیش‌بینی غلظت گرد و غبار با کمک فناوری هوش مصنوعی استفاده شد. داده‌ها به سه گروه تقسیم‌بندی شدند، ۶۰ درصد داده‌ها برای آموزش، ۲۰ درصد برای اعتبارسنجی، و ۲۰ درصد برای آزمون شبکه استفاده شد. مدل‌های مختلف شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که مدل با ساختار ۱-۸-۱۰ با تابع فعال‌سازی تنسیگ در لایه‌های پنهان و خروجی دارای بیشترین دقت (۹۳/۸۱ درصد) است. یافته‌های تحقیق حاضر قابلیت فناوری‌های پردازش تصویر و هوش مصنوعی در پیش‌بینی غلظت گرد و غبار با دقت زیاد و هزینه کم را نشان می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** ریزگرد، غلظت، پیش‌بینی، ماشین‌بینایی، شبکه عصبی مصنوعی.

ارجاع: ارجمندی ح. ر. خیرعلی‌پور ک. و عمارلویی ع. ۱۴۰۳. پیش‌بینی غلظت گرد و غبار در مقیاس آزمایشگاهی با استفاده از فناوری‌های پردازش تصویر و هوش مصنوعی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۳۱: ۹-۱. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2024.14177.642>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

۳- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایلام، ایلام، ایران.

\* نویسنده مسئول: [k.kheiralipour@ilam.ac.ir](mailto:k.kheiralipour@ilam.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۸

## مقدمه

گردد. روش مرسوم تعیین غلظت گرد و غبار در ایستگاه‌های زمینی استفاده از سامانه‌هایی مانند دست مانیتور چک<sup>۱</sup> است (Amarloei *et al.*, 2014). همچنین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای آلودگی هوا پایش و ریخت‌شناسی و توزیع ذرات گرد و غبار مورد بررسی قرار گرفته است (Bahari *et al.*, 2016). اخیراً تحقیقاتی به منظور جایگزینی این سامانه‌ها توسط روش‌های لیزری (Yu *et al.*, 2017) و فراصوت (Zhang *et al.*, 2018) گزارش شده است. هزینه این روش‌ها زیاد است؛ بنابراین نیاز است یک روش نوین با هزینه کمتر برای تعیین غلظت گرد و غبار توسعه یابد.

ماشین بینایی یکی از فناوری‌های قابل اعتماد، کم هزینه، و با دقت، تکرارپذیری، و سرعت زیاد است که با تصویربرداری و پردازش تصاویر اخذ شده با طول موج‌های مختلف مرئی و نامرئی و تحلیل و به کارگیری داده‌های حاصل برای تشخیص اهداف مختلف در بسیاری از بخش‌های کشاورزی، صنعت، پزشکی، و عمومی به کار می‌رود (Kheiralipour *et al.*, 2018a; Kheiralipour *et al.*, 2023). این فناوری در بخش تصاویر مرئی قابلیت خود را در در زمینه‌های مختلف با تشخیص رنگ سطح بیرونی اشیاء با بررسی آماره‌های مربوط به نوع و مقدار رنگ (Khazaei *et al.*, 2019) نشان داده است. خواص بافت سطح بیرونی اشیاء با محاسبه ویژگی‌هایی مانند تابین، همگنی، همبستگی، و آنتروپی در تحقیقات مختلف (Kheiralipour & Marzbani, 2016) بررسی شده است. یکی دیگر از قابلیت‌های پردازش تصاویر مرئی ریخت-شناسی (ابعاد و شکل) اشیاء است که در تحقیقات مختلفی (Kheiralipour & Kazemi, 2020; Azadnia *et al.*, 2021) گزارش شده است. کاربرد موفقیت آمیز فناوری ماشین بینایی در بررسی ذرات ریز و پودری نیز گزارش شده است (Mazzoli & Favoni, 2012; Si *et al.*, 2022; Saquib *et al.*, 2020; Jahanbakhshi *et al.*, 2021a-b; Tribak *et al.*, 2023; Kheiralipour & Jayas, 2023).

ضرورت کنترل گرد و غبار و کاهش آسیب‌های متعاقب آن اهمیت تعیین غلظت این ذرات در هوا را نشان می‌دهد. از روش پردازش تصویر و مدل‌سازی رگرسیون تک متغیره برای پیش‌بینی غلظت ریزگردها استفاده شده است. از تصویربرداری مرئی و پردازش تصویر برای

گرد و غبار شامل ذرات معلق (جامد و مایع) کوچکی با قطر کمتر از ۱۰۰ میکرومتر است که در هوا یافت می‌شوند (IUPAC, 1990). این ذرات معلق در هوا، باقیمانده ذرات گرد و خاکی است که در اثر فرسایش بادی و بیابان‌زایی توسط باد تا مسافت بسیار طولانی جابجا می‌شوند (Cheraghi *et al.*, 2016). میزان مجاز گرد و غبار در هوا ۱۷۰ میکروگرم بر مترمکعب است. در برخی مواقع این میزان در ایران به ۱۰ هزار میکروگرم بر مترمکعب می‌رسد (Erfanzadeh *et al.*, 2015). باید گرد و غبار در محیط شناسایی شود و اقدامات لازم برای پیشگیری از وقوع آن و کنترل و یا مقابله با اثرات آن صورت گیرد. عوامل مختلفی در ایجاد گرد و غبار در هوا مؤثر هستند. در این راستا، یکی از آن عواملی که اخیراً سبب بروز مشکل در مناطق جنوب، جنوب غرب، و غرب ایران شده است (Babaei, 2012) و بیشتر استان‌هایی خوزستان، ایلام، کرمانشاه، کردستان، و لرستان را تحت تأثیر خود قرار داده است (Hamzehee, *et al.*, 2021)، طوفان گرد و غبار است. کانون‌های اصلی پدیده‌های گرد و غبار اخیر در غرب ایران منطقه مرزی بین سوریه و عراق و جنوب غرب عراق هستند (Miri, 2012). از دیگر منابع طوفان‌های گرد و غبار صحرای سوریه و صحرای نفوذ در شمال شبه جزیره عربستان هستند و نقش صحرای کبیر آفریقا در این میان بسیار ناچیز است (Iranpour, 2016).

گرد و غبار یکی از مشکلات زیست‌محیطی (در حوزه منابع طبیعی) است. گرد و غبار علاوه بر محیط زیست، تأثیر نامطلوبی بر بخش‌های کشاورزی و منابع طبیعی، صنعت، و عمومی دارد (Kheiralipour *et al.*, 2018b; Hamzehee, *et al.*, 2021; Mahboub & Kheiralipour, 2022; 2024). در بخش کشاورزی، گرد و غبار باعث می‌شوند ذخیره رطوبتی کم شود و به همین دلیل گیاه و محصولات کشاورزی به درستی رشد نکنند. همچنین ریزدگرها سبب کاهش شدت نور در مزرعه‌ها می‌شود و از رسیدن نور کافی به محصولات جلوگیری می‌کند و به این علت تولید محصول کاهش یابد (Azadkhani & Sanai, 2014).

به منظور مدیریت اقدامات لازم برای مقابله با گرد و غبار و یا اثرات آن، ضروری است ابتدا غلظت آن تعیین

چین، و با منبع ولتاژ ۲۲۰ ولت، توان ۳۶۰ وات، و وزن ۳ کیلوگرم است. حداکثر سرعت چرخش موتور آن ۳۶۰۰ دور بر دقیقه بود.

برای ایجاد طوفان گرد و غبار از خاک رس استفاده شده است که یکی از عامل‌های اصلی طوفان گرد و غبار در محیط است. ذرات رس معمولاً با اندازه کوچکتر از  $0.2/0$  میلی‌متر تعریف می‌شوند؛ اما گاهی مواقع ممکن است ذراتی با اندازه  $0.2/0$  تا  $0.5/0$  میلی‌متر نیز به عنوان رس تعریف شوند.

ابتدا مقدار ۶۰ گرم خاک رس در کف اتاقک شیشه‌ای ریخته شد و سپس با استفاده از سامانه غبارسنج غلظت گرد و غبار تعیین شد. برای افزایش غلظت گرد و غبار در داخل اتاقک شیشه‌ای به منظور ایجاد گرد و غبار با غلظت‌های مختلف، هر بار مقداری (۶۰ گرم) خاک رس به مقدار قبلی اضافه شد. پس از ایجاد گرد و غبار توسط دمند در داخل اتاقک شیشه‌ای، غلظت گرد و غبار توسط سامانه غبارسنج ساخت شرکت کاسلا<sup>۱</sup> مدل Pro با بازه اندازه‌گیری ۱-۲۵۰ میکروگرم بر مترمکعب اندازه‌گیری شد. غلظت‌های گرد و غبار اندازه‌گیری شده در تحقیق حاضر شامل: ۰، ۲۷۵، ۱۲۸۹، ۱۸۹۶، ۲۳۱۶، ۲۵۸۵ و ۲۷۵۰ میکروگرم بر مترمکعب بود.

در مرحله دوم از دوربین تصویربرداری مرئی برای تصویربرداری از طوفان گرد و غبار در غلظت‌های مختلف استفاده شد. مشخصات دوربین مرئی مورد استفاده در جدول ۱ آمده است. برای ایجاد پس‌زمینه مناسب جهت گرفتن تصاویر با کیفیت و قابل پردازش، اتاقک شیشه‌ای در داخل اتاق قرار گرفت. انتخاب مناسب پس‌زمینه تصویر پردازش‌های اولیه را تا حد زیادی کاهش خواهد داد به گونه‌ای که با یک الگوریتم ساده می‌توان عملیات قطعه‌بندی تصویر را انجام داد.

برای تصویربرداری از طوفان گرد و غبار، دوربین مرئی بر روی یک سه پایه ثابت شد. دوربین با دید عمود بر سطح اتاقک قرار گرفته است و فاصله دوربین از سطح نمونه به اندازه ۱۰۰ سانتی‌متر تعیین شد. سپس با استفاده از دوربین، برای هر غلظت گرد و غبار مورد بررسی پنج تصویر (بدون نورپردازی) گرفته و به رایانه منتقل شد تا مورد پردازش قرار گیرند. در هنگام

تشخیص گرد و خاک بر روی پنل فتوولتاییک استفاده شده است. محققین بر اساس ویژگی آنروپی تصاویر توان خروجی پنل را پیش‌بینی نمودند (Tribak & Zaz, 2019). روش پردازش تصویر و رگرسیون خطی برای پیش بین غلظت گرد و غبار بر حسب میکروگرم بر متر مکعب پرداخته شده است (Arjomandi et al., 2022). در تحقیق دیگر از روش پردازش تصویر برای بررسی آلودگی گرد و غبار در معادن استفاده شده است. محققین از همبستگی خطی و لگاریتمی برای پیش‌بینی جرم گرد و غبار با ویژگی‌های تصاویر بهره بردند (Yin et al., 2023).

یکی از فناوری‌های مهم در حوزه تحلیل داده‌ها، هوش مصنوعی است (Kheiralipour, 2012; Salam & Kheiralipour, 2022; Khazaei et al., 2022). از این روش برای اهداف پیش‌بینی استفاده شده است (Azizpanah et al., 2015; Dehlaghi et al., 2019). فناوری هوش مصنوعی تا بحال به منظور پیش‌بینی غلظت گرد و خاک در هوا مورد استفاده قرار نگرفته است. بنابراین، نوآوری تحقیق حاضر استفاده از این فناوری به منظور پیش‌بینی غلظت گرد و خاک در هوا می‌باشد.

با توجه به قابلیت و مزایای مهم فناوری ماشین‌بینایی از یک طرف و توانایی روش‌های هوش مصنوعی در تحلیل داده‌ها به منظور پیش‌بینی اهداف مختلف از طرف دیگر، هدف از تحقیق حاضر استفاده از این فناوری‌ها برای پیش‌بینی غلظت گرد و غبار در هوا است.

## مواد و روش‌ها

مراحل اجرا شده در تحقیق حاضر به منظور پیش‌بینی غلظت گرد و غبار در شکل ۱ نشان داده شده است.

در مرحله اول یک ایستگاه تصویربرداری پیاده‌سازی شد. این ایستگاه شامل اتاقک شیشه‌ای، دمنده، دوربین تصویربرداری مرئی، پایه دوربین، و غبارسنج بود. ابعاد اتاقک با  $35 \times 70 \times 70$  سانتی‌مترمکعب بوده که از شیشه با ضخامت ۵ میلی‌متر ساخته شد.

پس از ساخت اتاقک شیشه‌ای، یک دستگاه دمنده برقی در آن قرار گرفت تا با حداکثر توان در اتاقک شیشه‌ای طوفان گرد و غبار ایجاد شود. محل قرارگیری دمنده در اتاقک ثابت بوده تا طوفان ایجاد شده برای همه تیمارها یکسان باشد. دمنده برقی مورد استفاده در تحقیق حاضر مدل Silver GTP03A10 Blower ساخت کشور

به سه قسمت با ابعاد  $80 \times 51$  پیکسل تبدیل شد (شکل ۳-۱)، به طوری که برای هر غلظت گرد و غبار مورد بررسی تعداد ۱۵ تصویر به دست آمد. در نهایت ۷۵ تصویر برای پردازش تصویر آماده شد.

تصوربرداری دمنده روشن بوده و همزمان غلظت گرد و غبار توسط سامانه غبارسنج تعیین شد. در مرحله سوم قبل از شروع پردازش تصاویر، بخش مرکزی تصاویر با ابعاد  $80 \times 153$  پیکسل جدا شد و سپس



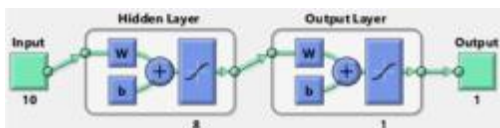
شکل ۱- مراحل اجرا شده به منظور پیش‌بینی غلظت گرد و خاک

پیش‌پردازش تصویر اولین قدم در تجزیه و تحلیل تصویر و همچنین مهم‌ترین بخش در هر سامانه مبتنی بر ماشین بینایی است. کیفیت نتایج تحلیل به مرحله جداسازی تصویر بسیار مرتبط است. در مرحله پیش‌پردازش از تصاویر مرئی در فضای RGB، فضاهای رنگی مختلفی شامل gray، HSV،  $III2I3$ ،  $L*a*b*$ ،  $YCrCb$ ،  $NRGB$  برای استخراج ویژگی‌ها به دست آمد (Gonzalez and Woods, 2002; Jahanbakhshi and Kheiralipour, 2019; Hosainpour *et al.*, 2022; Kheiralipour *et al.*, 2022). ویژگی‌ها از کانال‌های مختلف فضاهای رنگی RGB،  $L*a*b*$ ،  $NRGB$ ،  $YCrCb$ ،  $HSV$ ،  $III2I3$  (فضاهای رنگی هر یک شامل

جدول ۱- مشخصات دوربین مورد استفاده در تحقیق حاضر

مشخصه	توضیحات
شرکت سازنده	سونی
کشور	ژاپن
مدل	DSC-H70
زوم اپتیکال	۱۰ برابر
وضوح‌پذیری	۱۶/۱ مگا پیکسل

پردازش تصویر در مرحله چهارم صورت گرفت که شامل پیش‌پردازش تصاویر و استخراج ویژگی بود. به این منظور، الگوریتمی به منظور پردازش تصاویر مرئی گرد و غبار در نرم‌افزار متلب، نسخه 2013A، توسعه یافت.



شکل ۲- مدل شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده برای پیش‌بینی غلظت گرد و غبار

### نتایج و بحث

جدول ۲ مقادیر میانگین این ویژگی‌ها را برای هر غلظت‌های مورد بررسی گرد و غبار نشان می‌دهد. این ویژگی‌ها به عنوان ورودی مدل‌های پیش‌بینی به روش شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار گرفتند.

ساختار مدل‌های مختلف شبکه عصبی مصنوعی در جدول ۳ آمده‌اند. در این جدول میانگین مربعات خطای داده‌های اعتبارسنجی، ضریب همبستگی داده‌های آزمون، و ضریب همبستگی کل داده‌ها بیان شده است. مقادیر این پارامترها در گستره  $0/9637-0/7914$  و  $0/9686-0/9329$  است. همچنین، میانگین این پارامترها به ترتیب برابر  $0/9228$ ،  $0/9552$  می‌باشد. ساختارهای مختلف شبکه عصبی مصنوعی در جدول ۳ با توجه به مقادیر این سه پارامترها با هم مقایسه شدند و مدل بهینه انتخاب شد. مدل بهینه مدلی است که دارای مقدار میانگین مربعات خطای داده‌های اعتبارسنجی کمتر بوده و مقادیر ضریب همبستگی داده‌های آزمون و کل داده‌های آن بیشتر باشد. از نظر میانگین مربعات خطای داده‌های اعتبارسنجی، ساختار ۱-۱۹-۱۰ بهترین مدل است؛ چرا که دارای کمترین مقدار ( $0/415/25$ ) بود. این ساختار نمی‌تواند مدل بهینه باشد؛ چرا که مقادیر ضریب همبستگی داده‌های آزمون و ضریب همبستگی کل داده‌ها به ترتیب برابر با  $0/8595$  و  $0/9492$  کمتر از میانگین همه مدل‌ها است. مدل پیش‌بینی کننده با ساختار ۱۰-۱۱-۱، دارای بیشترین ضریب همبستگی برای داده‌های آزمون ( $0/9617$ ) و کل داده‌ها ( $0/9672$ ) بود. این مدل نیز بهینه نمی‌باشد، چرا که مقدار میانگین مربعات خطای آن در مرحله اعتبارسنجی بیشتر از مقدار میانگین بود ( $0/121234/54$ ). مدل‌هایی با تعداد ۸، ۱۳، ۱۶ و ۱۷ نورون در لایه پنهان هم دارای مقدار مربعات خطای داده‌های اعتبارسنجی کمتر از میانگین و هم مقادیر ضریب همبستگی داده‌های آزمون و کل داده‌های بیشتر از

سه کانال تک رنگ هستند) و کانال Gray (خاکستری) استخراج شد (Azadnia & Kheiralipour, 2022a; Salam & Kheiralipour, 2022).

پس از پیش‌پردازش، میانگین هر کانال تصویر به عنوان ویژگی همان کانال استخراج شد (Salam *et al.*, 2022; Azadnia & Kheiralipour, 2022b; Khazaee *et al.*, 2022). در این مرحله پردازش تصویر ۱۹ ویژگی شامل میانگین کانال‌های فضاهای رنگی مختلف استخراج شد.

در مرحله پنجم ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر برای پیش‌بینی غلظت گرد و غبار مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا، از بین این ویژگی‌ها، ۱۰ ویژگی به عنوان ویژگی‌های کارا با مقایسه نمودار رگرسیون تک متغیره آن‌ها انتخاب شدند. سپس از فناوری هوش مصنوعی برای تحلیل داده‌ها استفاده شد. هوش مصنوعی فناوری است که با استفاده از محاسبات مختلف تفکر انسان را شبیه‌سازی می‌کند. هوش مصنوعی دارای روش‌های مختلفی است که بر اساس داده‌ها آموزش می‌بینند و بر اساس نتایج آن آموزش عمل می‌کنند. یکی از روش‌های هوش مصنوعی که برای پیش‌بینی به کار می‌رود شبکه عصبی مصنوعی است. شبکه‌های عصبی از چند لایه شامل لایه ورودی، یک یا چند لایه میانی (پنهان)، و لایه خروجی تشکیل شده‌اند که هر لایه دارای یک یا چند نورون است. نورون‌ها به صورت موازی با هم عمل می‌کنند تا بتوانند محاسبات مورد نیاز را انجام دهند. (Kheiralipour *et al.*, 2018a).

در تحقیق حاضر، الگوریتمی به روش شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی غلظت گرد و غبار در نرم‌افزار متلب کد نویسی شد. داده‌ها به سه گروه تقسیم‌بندی شد، بدین صورت که ۶۰ درصد داده‌ها برای آموزش شبکه، ۲۰ درصد برای اعتبارسنجی و ۲۰ درصد برای آزمون استفاده شد.

شبکه عصبی مصنوعی در تحقیق حاضر از نوع پرسپترون چندلایه با یک لایه پنهان بود (شکل ۲). از تابع فعال‌سازی تنسیگ<sup>۱</sup> در لایه میانی و خروجی مدل و از روش لوبنبرگ-مارکوات<sup>۲</sup> برای آموزش آن استفاده شد.

1- Tansig

2- Levenberg-Marquardt

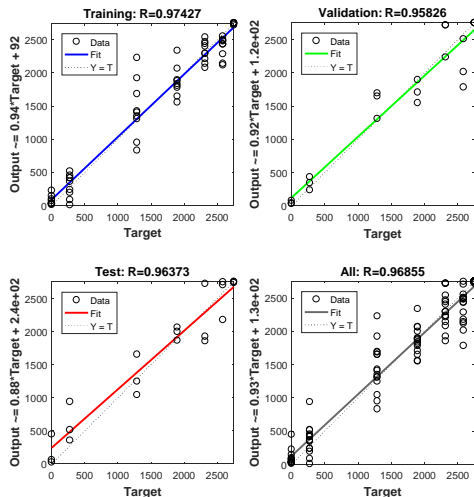
میانگین مدل‌ها بودند. از بین این چهار مدل، ساختار ۱۰-۱ به عنوان مدل بهینه انتخاب شد؛ چرا که دارای بیشترین مقدار ضریب همبستگی داده‌های آزمون و کل داده‌های (به ترتیب برابر با ۰/۹۶۳۷ و ۰/۹۶۸۶) و کمترین مقدار مربعات خطای داده‌های اعتبارسنجی (۸۵۳۵۸/۳۲) بود.

جدول ۲- مقادیر میانگین ویژگی‌های کارا

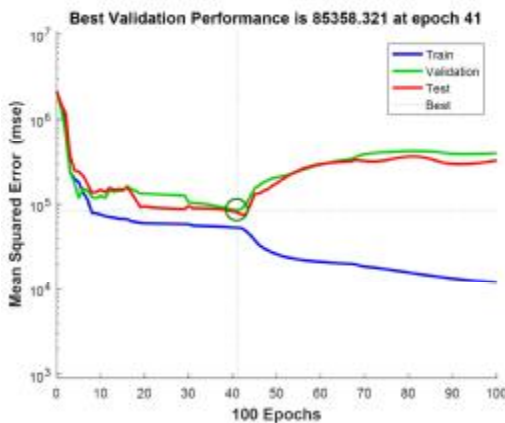
ردیف	ویژگی	غلظت گرد و غبار (میکروگرم بر مترمکعب)						
		۰	۲۷۵	۱۲۸۹	۱۸۹۶	۲۳۱۶	۲۵۸۵	۲۷۵۰
۱	میانگین R	۰/۵۳۶۰	۰/۵۱۱۶	۰/۵۱۰۳	۰/۵۱۳۰	۰/۵۰۹۷	۰/۵۱۴۷	۰/۵۰۷۳
۲	میانگین G	۰/۵۵۷۲	۰/۵۲۵۹	۰/۵۱۷۲	۰/۵۱۹۹	۰/۵۱۱۹	۰/۵۱۸۱	۰/۴۹۰۳
۳	میانگین B	۰/۵۲۹۵	۰/۴۹۷۳	۰/۴۸۶۷	۰/۴۸۶۸	۰/۴۷۸۳	۰/۴۸۴۸	۰/۴۴۹۹
۴	میانگین L*	۷۷/۹۰۸	۷۷/۱۷۱	۷۶/۷۶۹	۷۶/۹۱۶	۷۶/۵۰۷	۷۶/۸۶۴	۷۵/۴۹۱
۵	میانگین b*	۱/۶۸۰۱	۲/۰۳۷۱	۲/۴۷۰۳	۲/۶۸۷۰	۲/۹۱۵۶	۲/۸۳۴۸	۴/۲۵۶۱
۶	میانگین I2	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۷۱	۰/۰۱۱۸	۰/۰۱۳۱	۰/۰۱۵۷	۰/۰۱۵۰	۰/۰۲۸۷
۷	میانگین H	۰/۲۹۳۸	۰/۲۵۰۰	۰/۲۰۳۸	۰/۲۰۰۶	۰/۱۸۰۹	۰/۱۸۶۴	۰/۱۱۸۵
۸	میانگین S	۰/۰۵۱۳	۰/۰۵۵۲	۰/۰۶۱۴	۰/۰۶۵۴	۰/۰۷۰۴	۰/۰۶۸۴	۰/۱۱۳۵
۹	میانگین V	۰/۵۵۷۳	۰/۵۲۶۰	۰/۵۱۸۵	۰/۵۲۰۹	۰/۵۱۴۴	۰/۵۲۰۲	۰/۵۰۷۵
۱۰	میانگین Gray	۰/۵۴۹۱	۰/۵۱۸۳	۰/۵۱۱۷	۰/۵۱۴۰	۰/۵۰۷۴	۰/۵۱۳۳	۰/۴۹۰۸

جدول ۳- مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی

ردیف	ساختار	میانگین مربعات خطای داده‌های اعتبارسنجی	ضریب همبستگی داده‌های آزمون	ضریب همبستگی کل داده‌ها
۱	۱۰-۲-۱	۱۰۶۶۰۲/۷۹	۰/۹۲۱۵	۰/۹۴۷۲
۲	۱۰-۳-۱	۱۰۶۹۹۶/۶۷	۰/۹۳۲۷	۰/۹۵۳۸
۳	۱۰-۴-۱	۱۱۱۲۵۱/۹۰	۰/۹۳۰۹	۰/۹۵۳۶
۴	۱۰-۵-۱	۱۰۱۳۵۵/۰۶	۰/۹۱۵۷	۰/۹۴۶۲
۵	۱۰-۶-۱	۹۵۸۵۹/۱۹	۰/۹۳۳۹	۰/۹۵۰۶
۶	۱۰-۷-۱	۱۱۶۷۶۷/۱۵	۰/۹۴۷۸	۰/۹۵۴۳
۷	۱۰-۸-۱	۸۵۳۵۸/۳۲	۰/۹۶۳۷	۰/۹۶۸۶
۸	۱۰-۹-۱	۱۰۶۹۲۱/۳۱	۰/۹۲۱۰	۰/۹۴۸۷
۹	۱۰-۱۰-۱	۱۱۱۳۴۷/۲۵	۰/۹۵۲۵	۰/۹۶۳۵
۱۰	۱۰-۱۱-۱	۱۲۱۲۳۴/۵۹	۰/۹۶۱۷	۰/۹۶۷۲
۱۱	۱۰-۱۲-۱	۱۰۰۲۳۴/۹۷	۰/۹۱۰۷	۰/۹۶۲۷
۱۲	۱۰-۱۳-۱	۱۰۳۷۹۰/۷۱	۰/۹۴۷۴	۰/۹۵۸۷
۱۳	۱۰-۱۴-۱	۱۰۳۰۴۶/۶۹	۰/۹۱۹۶	۰/۹۶۶۱
۱۴	۱۰-۱۵-۱	۱۰۵۳۰۵/۲۶	۰/۹۲۰۳	۰/۹۵۱۶
۱۵	۱۰-۱۶-۱	۹۶۳۴۵/۴۴	۰/۹۳۱۰	۰/۹۶۵۴
۱۶	۱۰-۱۷-۱	۱۰۲۴۵۳/۶۶	۰/۹۳۹۱	۰/۹۵۶۱
۱۷	۱۰-۱۸-۱	۱۸۹۹۳۷/۸۲	۰/۷۹۱۴	۰/۹۳۲۹
۱۸	۱۰-۱۹-۱	۸۰۴۱۵/۲۵	۰/۸۵۹۵	۰/۹۴۹۲
۱۹	۱۰-۲۰-۱	۱۱۵۷۹۴/۴۷	۰/۹۳۳۲	۰/۹۵۱۹



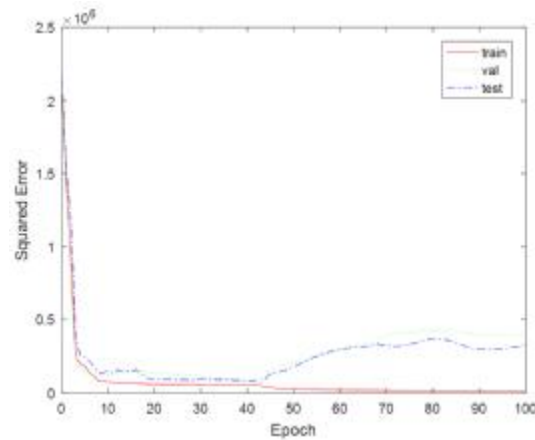
شکل ۳- ضریب همبستگی مدل برای الف) مرحله آموزش، ب) مرحله اعتبارسنجی، ج) مرحله آزمون، و د) کل داده‌ها



شکل ۴- نمودار میانگین مربعات خطای مدل شبکه عصبی مصنوعی بهینه

نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات پیشین قابل مقایسه است. روش لیزر برای تعیین غلظت گرد و غبار دارای دقت اندازه‌گیری ۰/۹۸۲ تا ۰/۹۸۷ گزارش شده است (Yu et al., 2017). دقت روش فراسوت برای تعیین غلظت گرد و غبار در محدوده ۹۰۰-۱۰۰ گرم بر مترمکعب بوده است (Zhang et al., 2018). دقت روش پردازش تصویر در پیش‌بینی جرم گرد و غبار در معادن ۹۵/۳ درصد گزارش شده است (et al., 2023 Yin). در تحقیقی دیگر از مدل رگرسیونی تک متغیره برای پیش‌بینی غلظت گرد و غبار استفاده شده است که دقت آن ۹۱ درصد بود (Arjomandi et al., 2022).

دقت تحقیق حاضر در پیش‌بینی غلظت گرد و غبار ۹۳/۸۱ درصد ( $100 \times R^2$ ) بوده است. بنابراین، نتایج تحقیق حاضر امکان‌سنجی سامانه ماشین‌بینایی را برای پیش‌بینی غلظت گرد و غبار با دقت زیاد نشان می‌دهد.



## منابع

- Amarloei, A., Jonidi Jafari, A., Asilian Mohabadi, H., & Asadollahi, K. (2014). The evaluation of PM10, PM2.5 and PM1 concentration during dust storm events in Ilam city, from Mar 2013 through Feb 2014. *Scientific Journal of Ilam University of Medical Sciences*, 22(4): 240-259.
- Arjomandi, H. R., Kheiralipour, K., & Amarloei, A. (2022). Development of univariate regression models to predict dust concentration by machine vision. *14<sup>th</sup> National Congress of Mechanical Engineering of Biosystems and Mechanization of Iran*, 6-8 Sep, Kermanshah, Iran.
- Azadnia, R., & Kheiralipour, K. (2021). Implementation of machine vision system in

## نتیجه‌گیری

طبق نتایج، فناوری‌های پردازش تصویر و شبکه عصبی مصنوعی قابلیت پیش‌بینی دقیق غلظت گرد و غبار در ایستگاه تصویربرداری گرد و غبار پیاده‌سازی شده در تحقیق حاضر را دارد. بیشترین دقت پیش‌بینی (۹۳/۸۱ درصد) مربوط به شبکه‌ای با ساختار ۱-۸-۱۰ بود. نتایج تحقیق حاضر می‌تواند برای پیاده‌سازی یک سامانه ماشین‌بینایی برای تخمین غلظت گرد و غبار در زمان واقعی مورد استفاده قرار گیرد. برای این کار، نیاز است تصویربرداری در شرایط محیط بدون اताفک شیشه‌ای صورت گیرد. همچنین، در تحقیق‌های آینده می‌توان قابلیت سایر روش‌های تحلیل داده را بررسی نمود.

- Kermanshah Province. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 32: 107-134.
- Hosainpour, A., Kheiralipour, K., Nadimi, M., & Paliwal, J. (2022). Quality assessment of dried white mulberry (*Morus alba L.*) using machine vision. *Horticulturae*, 8 (11): 1011.
- IUPAC. (1990). Glossary of atmospheric chemistry terms. International Union of Pure and Applied Chemistry, Applied Chemistry Division, Commission on Atmospheric Chemistry. *Pure and Applied Chemistry*, 62: 2167-2219.
- Iranpour, F. (2016). Synoptic analysis of dust systems in western Iran. *2<sup>nd</sup> International Congress of Earth Sciences and Urban Development*, 12 May, Tabriz, Iran.
- Jahanbakhshi, A., Abbaspour-Gilandeh, Y., Heidarbeigi, K., & Momeny, M. (2021a). A novel method based on machine vision system and deep learning to detect fraud in turmeric powder. *Comput Biol Med.*, 136: 104728.
- Jahanbakhshi, A., Abbaspour-Gilandeh, Y., Heidarbeigi, K., & Momeny, M. (2021b). Detection of fraud in ginger powder using an automatic sorting system based on image processing technique and deep learning. *Comput Biol Med*, 136: 104764.
- Jahanbakhshi, A., & Kheiralipour, K. (2019). Carrot sorting based on shape using image processing, artificial neural network, and support vector machine. *Journal of Agricultural Machinery*, 9: 295-307.
- Khazaei, Y., Kheiralipour, K., Hosainpour, A., & Javadikia, H. (2019). Development of an algorithm based on image processing technique and support vector machine to distinct potato from clod and stone. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, 8: 1-11.
- Khazaei, Y., Kheiralipour, K., Hosainpour, A., Javadikia, H., & Paliwal, J. (2022). Development of a novel image analysis and classification algorithms to separate tubers from clods and stones. *Potato Research*, 65(1): 1-22.
- Kheiralipour, K. (2012). Implementation and construction of a system for detecting fungal infection in pistachio kernel based on thermal imaging (TI) and image processing technology. Ph.D., Dissertation. University of Tehran, Karaj, Iran.
- Kheiralipour, K., Ahmadi, H., Rajabipour, A., & Rafiee, S. (2018a). Thermal imaging, principles, methods and applications. 1<sup>st</sup> ed., Ilam University Publication.
- Kheiralipour, K., Al-Ansari, N., & Sissakian, V. (2018b). Dust determination methods and instrumentations. *2<sup>nd</sup> International* order to process images of medicinal plants and classify them by linear and quadratic discriminant analysis. *Mechanical Researches of Agricultural Machines*, 10: 1-15.
- Azadnia, R., Kheiralipour, K., & Jafrian, M. (2022a). Classification of hawthorn fruit based on ripeness level by machine vision. *Innovative Food Technologies*, 9(4): 331-344.
- Azadnia, R., & Kheiralipour, K. (2022b). Evaluation of hawthorns maturity level by developing an automated machine learning-based algorithm. *Ecological Informatics*, 71: 101804.
- Azadkhani, P., & Sanai, S. (2014). Investigating the harmful effects of fine dust on the environment of Ilam city. *1<sup>st</sup> Paya City Niarsh International Conference*, 22 November, Tehran, Iran.
- Azizpanah, A., Rajabipour, A., Alimardani, R., Kheiralipour, K., & Mohammadi, V. (2015). Precision spray modeling using image processing and artificial neural network. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 17: 65-74.
- Babaei, M. H. (2012). Identifying the environmental effects of dust on the agricultural sector and providing management solutions. Master's Thesis, Razi University, Kermanshah, Iran.
- Bahari, R. A., Abaspour, R. A., & Pahlavani, P. (2016). Zoning of particulate matters (PM) pollution using local statistical models in GIS (Case study: Tehran Metropolises). *Journal of Geomatics Science and Technology*, 5: 165-174.
- Cheraghi, S., Mirani, M., Haji Karimi, H., & Sepidnameh, S. (2016). Investigating the effect of fine dust on tourism in Ilam province. *2<sup>nd</sup> International Congress of Earth Sciences and Urban Development*, 12 May, Tabriz, Iran.
- Dehlaghi, L., Rabbani, H., Mirzaee-Ghaleh, E., & Kheiralipour, K. (2019). Forecasting the Outlet Fluid Temperature from a Flat Plate Collector Using Artificial Neural Networks (ANNs) and Support Vector Regression (SVR). *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 49: 669-678.
- Erfanzadeh, R., Omidipour, R., & Ghasempour, M.R. (2015). Comparison of the occurrence and trend of fine dust in Ilam and Dehloran cities. *3<sup>4</sup>th International Congress of Earth Sciences*, 22-24 January, Tehran, Iran.
- Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2002). Digital image processing, 2<sup>nd</sup> Ed. Prentice Hall Inc, New Jersey, US.
- Hamzehee, M. R., Babaei, M. H. & Papzan, A. (2021). Zoning of dust-affected areas in



- Saquib, D., Nabeel Nasser, M., & Ramaswamy, S. (2020). Image Processing Based Dust Detection and prediction of Power using ANN in PV systems. *3<sup>rd</sup> International Conference on Smart Systems and Inventive Technology*. 20-22 August, Tirunelveli, India.
- Si, Y., Yang, F., & Liu, J. (2022). Sand dust image visibility enhancement algorithm via fusion strategy. *Scientific Reports*, 12: 13226.
- Tribak, H., Gaou, M., Gaou, S., Zaz, Y., & Motahhir, S. (2023). Dust Soiling Concentration Measurement System Based on Image Processing Techniques. In: Motahhir, S. *Digital Technologies for Solar Photovoltaic Systems: From General to Rural and Remote Installations*. London, England: Institution of Engineering and Technology.
- Tribak, H., & Zaz, Y. (2019). Dust Soiling Concentration Measurement on Solar Panels based on Image Entropy. *7<sup>th</sup> International Renewable and Sustainable Energy Conference*. 27-30 November, Agadir, Morocco.
- Yin, J., Lei, J., Fan, K., & Wang, S. (2023). Integrating image processing and deep learning for effective analysis and classification of dust pollution in mining processes. *International Journal of Coal Science & Technology*, 10: 84.
- Yu, X., Shi, Y., Wang, T., & Sun, X. (2017). Dust-concentration measurement based on Mie scattering of a laser beam. *PLoS One*, 12(8): e0181575.
- Zhang, Y., Lou, W., & Liao, M. (2018). Research on dust concentration measurement technique based on the theory of ultrasonic attenuation. *J. Phys. Conf. Ser.*, 986: 012026.
- Conference on Dust*. 25-27 April, Ilam, Iran.
- Kheiralipour, K., Chelladurai, V., & Jayas, D. S. 2023. Imaging Systems and Image Processing Techniques. In: Jayas, D.S. *Image Processing: Advances in Applications and Research*. 1<sup>st</sup> Ed. Hauppauge, New York, US: Nova Science Publishers.
- Kheiralipour, K., & Jayas D. S. 2023. Image Processing for the Quality Assessment of Flour and Flour-Based Baked Products. In: Jayas, D.S. *Image Processing: Advances in Applications and Research*. 1<sup>st</sup> Ed. Hauppauge, New York, US: Nova Science Publishers.
- Kheiralipour, K., & Kazemi, A. (2020). A new method to determine morphological properties of fruits and vegetables by image processing technique and nonlinear multivariate modeling. *International Journal of Food Properties*, 23: 368-374.
- Kheiralipour, K., & Marzbani, F. (2016). Multivariate modeling of settling depth of apple fruit (Red Delicious variety) in water. *Food Science & Nutrition*, 4: 138-142.
- Kheiralipour, K., Nadimi, M., & Paliwal, J. (2022). Development of an intelligent imaging system for ripeness determination of wild pistachios. *Sensors*. 22(19): 7134.
- Mahboub, R., & Kheiralipour, K. (2024). Development of the performance loss models for a photovoltaic panel under the influence of dust deposition. *Energy Systems*, 15: 1043-1056.
- Mahboub, R., & Kheiralipour, K. (2022). The effect of dust storm on the performance of photovoltaic panel at different tilt angles. *Energy Engineering and Management*, 12(2): 72-81.
- Mazzoli, A., & Favoni, O. (2012). Particle size, size distribution and morphological evaluation of airborne dust particles of diverse woods by scanning electron microscopy and image processing program. *Powder Technology*, 225: 65-71.
- Miri, M. (2012). Statistical analysis of the phenomenon of dust and fog in the western half of Iran. M.Sc. thesis, University of Tehran.
- Salam, K., & Kheiralipour S. (2022). Development and evaluation of chickpea classification system based on visible image processing technology and artificial neural network. *Innovative Food Technologies*, 9(2): 181-193.
- Salam, S Kheiralipour, K., & Jian, F. (2022). Detection of unripe kernels and foreign materials in chickpea mixtures using image processing. *Agriculture*, 12(7): 995.

