



شناسایی پهنه‌های مستعد تولید گردوغبار با استفاده از منطق فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی در جنوب شرقی دریاچه ارومیه

امید رفیعیان^{*}، سعید حسین زاده خاچک، خلیل ولیزاده کامران، محمدرضا دلایان، حسن محمدی غلام

۱- استادیار گروه محیط زیست، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران - مرکز تحقیقات مدیریت توسعه پایدار حوضه آبریز دریاچه ارومیه

۲- دانشجوی دکترا گروه محیط زیست، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۳- استادیار گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه تبریز

۴- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، - مرکز تحقیقات مدیریت توسعه پایدار حوضه آبریز دریاچه ارومیه و رودخانه

۵- دانش آموخته دکتری اقلیم شناسی، کارشناس هواشناسی سازمان هواشناسی کشور، اداره کل هواشناسی آذربایجان شرقی، تبریز، ایران

چکیده

در کنار حوادث طبیعی همچون سیل، که آسیب‌های بسیار زیادی به محیط‌زیست و مجامع انسانی وارد می‌کند، پدیده گردوغبار نیز به‌نوبه خود آسیب‌های جبران‌ناپذیری به محیط‌های شهری، سیستم‌های حمل‌ونقلی، سیستم تنفسی و... تحمیل می‌نماید. شناسایی کانون مستعد، اولین گام جهت کنترل و جلوگیری از رخداد چنین پدیده‌ای محسوب می‌گردد. تحقیقات مختلفی جهت شناسایی کانون‌های گردوغبار شده است، ولی در اغلب مطالعات از تصاویر کوچک‌مقیاس استفاده شده است. هدف از این تحقیق، استفاده از تصاویر متوسط مقیاس ماهواره‌ای جهت شناسایی کانون‌های محلی مستعد تولید گردوغبار است. جهت تهیه هر یک از عناصر مؤثر در تولید گردوغبار که شامل: شیب، مدل رقومی ارتفاع، کاربری اراضی، شاخص پوشش گیاهی، رطوبت خاک، شوری خاک، سرعت باد، بارش و دمای سطح زمین هستند، از سامانه گوگل ارث انجین استفاده شده است. برای وزن‌دهی عناصر از روش تحلیل سلسله‌مراتبی بهره گرفته شد. نتایج وزن‌های به‌دست‌آمده برای هر یک از عناصر عبارت‌اند از: رطوبت خاک (۰/۲۶۴)، پوشش گیاهی (۰/۲۰۸)، سرعت باد (۰/۱۵۳)، بارش (۰/۱۰۷)، کاربری اراضی و شوری خاک (۰/۰۸۱)، دمای سطح زمین (۰/۰۶۴)، ارتفاع و شیب به ترتیب برابر ۰/۰۲۴ و ۰/۰۲۰ و شاخص ناسازگاری برابر ۰/۰۱۵ محاسبه شد که بیانگر میزان تناقض بین وزن‌های ارائه شده عناصر نسبت به

یکدیگر است که کمتر از آستانه مجاز (۱) است. به دلیل عدم وجود ایستگاه سنجش کیفیت هوا در محدوده، برای صحت‌سنجی نقشه‌های استنتاجی از محصول عمق اپتیکی هواویزها استفاده شد. نقشه نهایی نشان داد که هرچه به ارتفاعات سهند نزدیک‌تر، از وسعت کانون‌ها کاسته شده و هرچه به دریاچه نزدیک‌تر، بر وسعت کانون‌ها افزوده شده است.

کلمات کلیدی: گردوغبار، دریاچه ارومیه، سیستم اطلاعات جغرافیایی، گوگل ارث انجین، تحلیل سلسله‌مراتبی، منطقی فازی.

۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین مخاطرات محیط‌زیستی و یکی از فرایندهای اقلیمی حایز اهمیت به‌ویژه در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک و بیابانی جهان، پدیده گردوغبار است (Alizade Govarchin Ghale et al., 2021). رخداد و گسترش طوفان گردوغبار به مناطق مجاور، خسارات بی‌شمار و جبران‌ناپذیری را در ابعاد مختلف محیط‌زیست وارد می‌نماید که از آن جمله می‌توان به تأثیر بر بهداشت و سلامت جوامع انسانی، صنعت، کشاورزی، تولید مواد غذایی پایدار، حمل‌ونقل هوایی و جاده‌ای، اقتصاد و مهاجرت، تأثیر منفی بر روی فعالیت صنایع متعدد، بیلان انرژی و تهدید جدی برای گردشگری اشاره نمود (Katushabe et al., 2021; Feizizadeh et al., 2022).

بر اساس توافق سازمان هواشناسی جهانی (WMO)، هرگاه در هر ایستگاهی سرعت باد از ۱۵ متر بر ثانیه تجاوز و دید افقی به علت گردوغبار کمتر از یک کیلومتر (۱۰۰۰ متر) برسد، طوفان گردوغبار گزارش می‌شود. بر اساس مطالعات صورت‌گرفته، منابع اصلی گردوغبار عبارت‌اند از: بیابان‌ها، مناطق خشک و اراضی با خاک خشک و کشت نشده که تغییرات اقلیمی و رخداد خشکسالی‌های متوالی و فعالیت‌های غیراصولی و برداشت بی‌رویه و کنترل نشده انسان در طبیعت، احتمال وقوع طوفان‌های گردوغبار را افزایش می‌دهد (آرامی و همکاران، ۱۳۹۷).

از این‌رو، شناسایی منشأ تولید گردوغبار کمک قابل‌توجهی در شناخت خصوصیات فیزیکوشیمیایی این ذرات در راستای اعمال رویکردهای اجرایی مناسب باهدف کنترل، مهار و جلوگیری از گسترش این طوفان‌ها در آینده می‌کند. در مطالعات متعددی از تصاویر سنجش‌از‌دور و داده‌های حاصل از آن جهت شناسایی منشأهای گردوغبار استفاده شده است (Yassin et al., 2018؛ انصاری قوجقار و همکاران، ۱۳۹۹؛ شایسته و همکاران، ۱۳۹۹؛ حیدری و همکاران، ۱۳۹۹؛ جمال‌پور بیرگانی و همکاران، ۱۴۰۰). در مطالعات صورت‌گرفته از روش‌های گوناگون جهت شناسایی کانون‌های مستعد تولید گردوغبار استفاده شده است؛ ولی در این تحقیق، هدف استفاده از نقشه‌های متوسط مقیاس با استفاده از سامانه تحت وب گوگل ارث انجین (Google Earth Engine) جهت استخراج پارامترهای اقلیمی و محیطی با بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به همراه تجزیه و تحلیل

آن توسط روش منطق فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی (Analytical Hierarchy Process) در محیط نرم‌افزار ArcMap version 10.8 جهت شناسایی کانون‌های بالقوه تولید گردوغبار است.

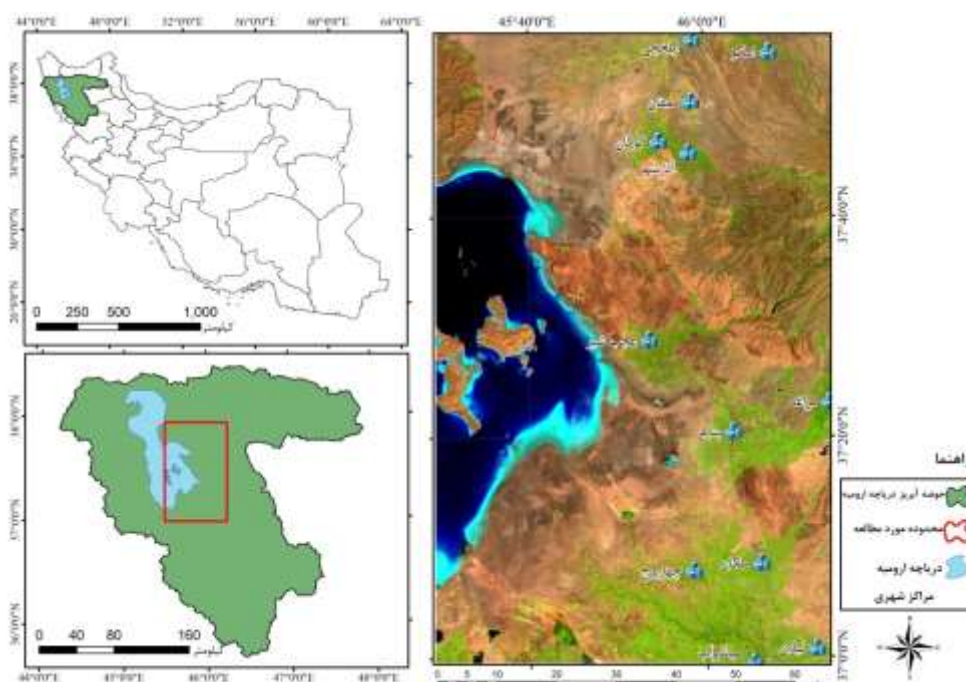
محدوده شرق و جنوب شرقی دریاچه ارومیه از جمله مناطقی است که طی سال‌های اخیر تحت تأثیر کاهش سطح دریاچه ارومیه، وقوع طوفان‌های گردوغبار و تبعات آن بوده است و در آینده ساکنین محدوده مورد مطالعه و همسایگان را دچار تهدیدات جدی می‌نماید (Garajeh et al., 2021; Barhagh et al., 2021).

گوگل ارث انجین یا به اختصار GEE یک سرویس ابری است که توسط گوگل ارائه می‌شود که امروزه جهت تجزیه و تحلیل تصاویر سنجش‌ازدور در سطوح جهانی و محلی استفاده می‌شود و به عنوان یک سامانه تحت ابر تحلیل مکانی، متن‌باز و تحت وب استفاده می‌شود. از مزایای این سامانه می‌توان به دسترسی به داده‌های تصویری سنجش‌ازدور، پردازش سریع داده‌ها، محیط برنامه‌نویسی قدرتمند، داده‌های جغرافیایی زیاد، قابلیت شخصی‌سازی و از معایب آن می‌توان به عدم پوشش کامل نقشه‌ها، نیاز به اتصال به اینترنت، مشکلات سرعت پردازش، نمایش داده‌ها و حفاظت از حریم شخصی اشاره نمود.

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

چارچوب محدوده مورد مطالعه این پژوهش، به اندازه یک گرانول تصویر سنتینل-۲، در حوضه آبریز دریاچه ارومیه و در قسمت جنوب شرقی دریاچه ارومیه مدنظر است (شکل ۱) از طرفی چون بیشترین تغییرات و تأثیرات را از خشکسالی دریاچه به خود گرفته، حایز اهمیت است. این محدوده در مختصات جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۹ دقیقه و ۳۵ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۵۹ دقیقه و ۳۸ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۵۶ دقیقه و ۴۷ ثانیه عرض شمالی قرار دارد. دارای اقلیم نیمه‌خشک با رژیم بارشی مدیترانه‌ای است. از نظر تقسیمات هیدرولوژیک به حوضه آبریز دریاچه ارومیه تعلق داشته و شامل قسمت‌هایی از زیر حوضه‌های آبریز آجی چای سفلا، آذرشهر چای، قلعه چای، صوفی چای، مردوق چای، لیلان چایی، زرینه‌رود و سیمینه‌رود هست. محدوده از غرب به دریاچه ارومیه، از شرق به ارتفاعات سهند، از شمال به شهرستان تبریز و از جنوب به شهرهای مهاباد و میاندوآب ختم می‌شود. در محدوده مذکور حداقل ارتفاع ۱۲۴۰ متر از سطح دریای آزاد در حاشیه دریاچه ارومیه و حداکثر آن ۲۸۵۰ متر از سطح دریای آزاد در نزدیکی ارتفاعات سهند است. میانگین دمای متوسط روزانه از ۱۰ درجه سانتی‌گراد در مناطق اطراف دریاچه تا کمتر از ۲/۵ درجه سانتی‌گراد در ارتفاعات سهند متغیر است و میانگین بارندگی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه برابر ۳۵۰ میلیمتر است.



شکل (۱): محدوده مورد مطالعه
 Fig. (1): Case Study

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از دودسته از داده‌ها استفاده گردید؛ دسته اول داده‌های مربوط به عناصر اقلیمی یا عناصر ناپایدار است که شامل لایه‌های میانگین بارش، دمای سطح زمین، رطوبت سطحی خاک، سرعت باد و شوری سطحی خاک است. دسته دوم از داده‌ها، لایه‌ها و اطلاعات مربوط به عوامل زمینی یا عوامل پایدار است که شامل مدل رقومی ارتفاع، شیب، کاربری اراضی، شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index) تهیه گردید. برای تهیه لایه‌ها از میانگین ۸ سال (۲۰۱۳-۲۰۲۰) استفاده گردید.

۲-۳- روش اجرای پژوهش

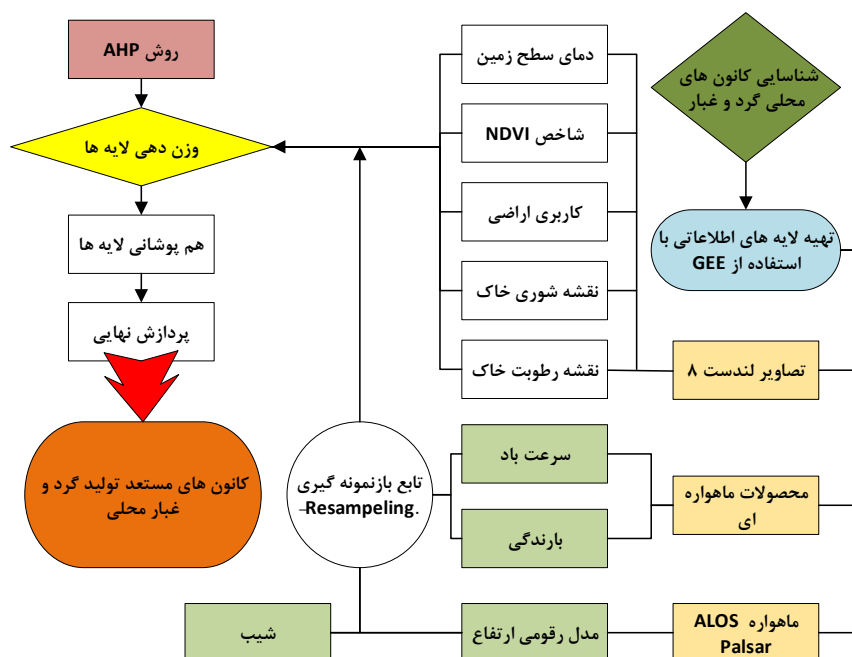
روش انجام تحقیق تحلیلی و آماری بوده که در آن هدف اساسی تعیین نواحی مساعد شکل‌گیری یا گسترش کانون‌های گردوغبار یا به عبارتی پتانسیل‌یابی کانون‌های محلی تولید گردوغبار در جنوب شرقی ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنتینل-۲، سامانه GEE، AHP و منطق فازی در محیط نرم‌افزاری ArcGIS است. در این راستا تشکیل پایگاه‌های داده‌های آب‌وهوایی و زمینی اولین مرحله کار است. در مرحله

دوم، اقدام به تشکیل، تهیه و استخراج لایه‌های اطلاعاتی این داده‌ها از محیط GEE برای دوره زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰ گردید. در مرحله سوم، معیارهای در نظر گرفته شده تحقیق در دودسته معیارهای اصلی (رطوبت سطحی خاک، شوری سطح خاک، شاخص دمای سطحی زمین، سرعت باد و پوشش گیاهی) و معیارهای محدودکننده (کاربری اراضی، ارتفاع، بارندگی، شیب) تقسیم‌بندی شدند. در گام چهارم، از منطق فازی برای استانداردسازی و روی هم‌گذاری لایه‌ها در ArcGIS استفاده گردید و مدل بهینه به گونه‌ای که مقادیر خطای کمتری را به همراه داشته باشد، انتخاب شد. بعد از تهیه لایه‌های موجود، اقدام به طبقه‌بندی و وزن‌دهی هر کدام از لایه‌ها براساس روش تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy Process) گردید. در نهایت با توجه به وزن‌های اختصاص داده شده، اقدام به برهم‌نهی وزن‌دار لایه‌ها در محیط ArcGIS شد و نقشه مناطق مستعد شکل‌گیری کانون‌های گرد و غبار محلی در شرق و جنوب‌شرقی دریاچه ارومیه تولید گردید. فرآیند انجام تحقیق در شکل (۲) ارائه شده است. همچنین در جدول (۱)، موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی در محدوده مورد مطالعه جهت اخذ اطلاعات هواشناسی ارایه شده است.

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک محدوده مورد مطالعه

Table (1): characteristics of synoptic stations in the Case Study

ردیف	نام ایستگاه	کد ایستگاه	طول جغرافیایی (UTM)	عرض جغرافیایی (UTM)	ارتفاع از سطح دریای آزاد (متر)
۱	فرودگاه مراغه	۴۰۷۱۳	۶۰۱۵۱۶,۱۳	۴۱۳۴۰۵۹,۳۶	۱۳۴۲
۲	عجب‌شیر	۹۹۲۳۴	۵۷۶۴۵۵,۱۱	۴۱۵۱۶۸۹,۹۴	۱۳۱۰
۳	بناب	۹۹۲۳۹	۵۹۳۱۶۹,۶۱	۴۱۳۶۴۳۸,۲۶	۱۲۸۱
۴	ملکان	۹۹۲۸۴	۵۹۷۱۹۴,۶۹	۴۱۱۴۲۰۰,۳۸	۱۲۹۹



شکل (۲): فرایند انجام تحقیق

Fig. (2): The process of doing research

جدول (۲) نشان‌دهنده ویژگی‌های هریک از عناصر مؤثر در تشکیل کانون‌های مستعد تولید گردوغبار در محدوده مورد مطالعه هست که به توصیف هر عنصر مؤثر در شکل‌گیری کانون‌های محلی مستعد تولید گردوغبار می‌پردازد.

جدول (۲): عناصر یا المان‌های مؤثر در تولید کانون‌های محلی مستعد گردوغبار

Table (2): Elements or elements effective in the production of local sources to dust

منبع	رابطه	قدرت تفکیک مکانی (متر)	تصویر ماهواره-ای/محصول آماده	عنصر یا المان مؤثر
http://vertex.daac.asf.alaska.edu	*	۱۲/۵	ماهواره آلتوس	مدل رقومی
u			پالسار	ارتفاع
-	*	۱۲/۵	مشتق از مدل رقومی ارتفاع	شیب
FLDAS-Terra Climate (http://www.chc.ucsb.edu)	Terra Climate: Monthly Climate and Climatic Water Balance for Global Terrestrial Surfaces, University of Idaho.	۴۰۰۰	محصول	سرعت باد
CHIRPS (http://Idas.gsfc.nasa.gov)	CHIRPS Daily: Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station Data (version 2.0 final).	۵۰۰۰	محصول	بارش
Avdan And Jovanovska (2016)	$L\lambda = ML \times Q_{cal} + Al - Oi$ $BT = \frac{K_2}{\ln[(K_1/T_s) + 1]} - 273.15$ $T_s = \frac{BT}{\{1 + [(\lambda \cdot BT/\rho) \ln \epsilon_\lambda]\}}$	۳۰	ماهواره لندست ۸-	دمای سطح زمین
Drisy And Roshni (2018)	$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{Red})$	۳۰	ماهواره لندست ۸-	شاخص پوشش گیاهی
Killeen et al. (2015),	Supervised Classification	۱۰	ماهواره سنتینل-۲	کاربری اراضی
Fensholt And Sandholt (2003)	$SIWSI = \frac{R_{SWIR} - R_{NIR}}{R_{SWIR} + R_{NIR}}$	۳۰	ماهواره لندست ۸-	رطوبت خاک
Wu (2014)	$GDVI = (SR^n - 1) / (SR^n + 1)$ $= (\rho_{NIR}^n - \rho_R^n) / (\rho_{NIR}^n + \rho_R^n)$ $EC = -2.87 - 23.27 \times \ln(GDVI) \text{ (dS/m)}$	۳۰	ماهواره لندست ۸-	هدایت الکتریکی (شوری)

الف) تهیه نقشه کاربری اراضی

برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی از روش طبقه‌بندی نظارت شده استفاده شد (Kileen et al., 2015). محدوده مورد مطالعه به شش طبقه که عبارت‌اند از: شوره‌زارها، زمین‌های بایر، علفزار، باغ‌ها، مناطق مسکونی، مناطق انسان‌ساز و مناطق آبی دسته‌بندی شد و به صورت بصری پس از بارگذاری در محیط گوگل ارث، محدوده طبقات کاربری اراضی با آخرین تصویر ماهواره‌ای کنترل و اصلاح شد.

ب) تهیه نقشه شاخص NDVI

در سنجش از دور برای محاسبه پوشش گیاهی از شاخص‌های متعددی استفاده می‌شود که در پژوهش حاضر از نسبت تفاضلی باند مرئی قرمز به باند مادون قرمز نزدیک مطابق رابطه ۱ استفاده شده است (Drisya and Roshni, 2018):

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{Red}) \quad \text{رابطه (۱)}$$

ρ بازتابندگی تصحیح شده سطح زمین باندهای مرئی قرمز و مادون قرمز نزدیک سنجنده OLI لندست ۸ است. مقدار شاخص NDVI از ۱- برای مناطق فاقد پوشش گیاهی تا ۱+ که نشان‌دهنده پوشش گیاهی کامل است، متغیر است.

پ) تهیه نقشه LST

برای محاسبه دمای سطح زمین و تهیه نقشه آن، در سه مرحله به تفصیل ذیل استفاده شده است (Jiang and Tian, 2010):

الف) تبدیل عدد رقومی (Digital Number) به تابش طیفی که بر اساس مقادیر مرجع تابش طیفی در وبسایت USGS و رابطه ۲ صورت پذیرفت:

$$L_{\lambda} = (M_L \times Q_{cal}) + A_L \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن L_{λ} شعاع طیفی ($Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$) و Q_{cal} یک عدد رقومی در محل پیکسل موردنظر است و مقدار M_L (RADIANCE_MULT_BAND) و A_L (RADIANCE_ADD_BAND) از هدر فایل تصویری استخراج شده و در رابطه استفاده شده‌اند.

ب) تبدیل شعاع طیفی به دمای جسم سیاه: داده‌های باند حرارتی ماهواره لندست-۸ با استفاده از معادله پلانک (رابطه ۳) از توان تابشی طیفی به دمای جسم سیاه (T_B) تبدیل می‌شود که در آن توان تابشی (تشنشعی) یک حداکثر توان تابشی) مدنظر قرار گرفته شد.

$$T_B = \frac{k_2}{\ln(\frac{k_1}{L_{\lambda}} + 1)} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در رابطه ۳، T_B دمای مؤثر روی ماهواره بر حسب کلوین، K_1 ثابت کالیبراسیون اول، K_2 ثابت کالیبراسیون دوم و L_{λ} شعاع طیفی پیکسل‌ها ($Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$) برای پیکسل موردنظر است.

ج) تصحیح توان تابشی: تصحیح توان تشعشعی بر بازیابی صحیح دمای سطح و همچنین بر کیفیت اطلاعات به دست آمده از داده های مادون قرمز حرارتی مؤثر است. تصحیح توان تابشی برای تبدیل دمای جسم سیاه به دمای سطح زمین صورت گرفت. روش آستانه NDVI که بر اساس توان تابشی سطحی به ۳ دسته تقسیم می شود که یکی از گزینه های عملیاتی و عملی برای دستیابی به توان تابشی است؛

$NDVI < 0.2$: نشان دهنده خاک لخت است و قدرت تابش خاک لخت در نظر گرفته می شود (ϵ_{soil} برابر با ۰/۹۷ است).

$NDVI > 0.5$: نشان دهنده مناطقی با پوشش گیاهی فراوان و قدرت تابشی پوشش گیاهی در نظر گرفته شده است (ϵ_{soil} برابر با ۰/۹۹ است).

$0.2 \leq NDVI \leq 0.5$: در این حالت پیکسل ها مخلوطی از خاک و پوشش گیاهی هستند و بر این اساس قدرت تابشی (ϵ_{Mix}) به دست می آید.

$$\epsilon = \epsilon_{veg} P_V + \epsilon_{soil} (1 - P_V) \quad \text{رابطه (۴)}$$

نسبت پوشش گیاهی یکسان است و از رابطه ۵ به دست می آید:

$$P_V = (NDVI - NDVI_{Min} / NDVI_{Max} - NDVI_{Min})^2 \quad \text{رابطه (۵)}$$

در معادله بالا $NDVI_{Min} = 0.2$ و $NDVI_{Mix} = 0.5$ است.

پس از محاسبه مقدار توان تابشی، LST با استفاده از رابطه ۶ محاسبه شد:

$$LST = \left[\frac{T_B}{1 + (\lambda * T_B) / \rho \ln \epsilon} \right] - 273.15 \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در رابطه ۶، λ طول موج تشعشعی (۱۱/۵ میکرومتر) و ϵ توان تشعشعی است.

ت) تهیه نقشه شوری سطح خاک

شاخص تعمیم یافته تفاوت پوشش گیاهی (GDVI) برای تهیه نقشه شوری خاک استفاده شد (Wu, 2014). شوری خاک با استفاده از رابطه ۷ محاسبه شده است:

$$GDVI = (SR^n - 1) / (SR^n + 1) = (\rho_{NIR}^n - \rho_R^n) / (\rho_{NIR}^n + \rho_R^n) \quad \text{رابطه (۷)}$$

که SR شاخص نسبت ساده؛ ρ_{NIR} و ρ_R به ترتیب مقادیر بازتابی نزدیک به مادون قرمز و باند قرمز را نشان می‌دهند؛ n نیز یک عدد صحیح غیرصفر از ۱ تا n تحت عنوان عدد توان است. زمانی که $n = 1$ باشد، NDVI = GDVI است که در آن n توان است؛ یک عدد صحیح با مقادیری از $(1, 2, 3, \dots, n)$.

محدودهٔ دینامیکی کلی GDVI همانند NDVI از -1 تا $+1$ است و زمانی که $n = 1$ باشد، $GDVI = NDVI$. برای قابل فهم بودن توضیحات می‌توان بیان نمود، زمانی که $n = 2, 3, 4$ است GDVI به ترتیب به صورت $GDVI^2$ ، $GDVI^3$ و $GDVI^4$ نشان داده می‌شود.

$$EC = -2.87 - 23.27 * \ln(GDVI) \left(\frac{dS}{m} \right) \quad \text{رابطه (۸)}$$

رابطهٔ بین هدایت الکتریکی و GDVI برای شوری در رابطهٔ ۸ مشخص شده است.

(ج) تهیه نقشه رطوبت خاک

پوشش گیاهی و دمای سطح خاک رابطه پیچیده‌ای با رطوبت خاک دارد. میزان رطوبت خاک با استفاده از رابطهٔ ۹ برآورد شد (Fensholt and Sandholt, 2003).

$$SIWSI = \frac{R_{SWIR} - R_{NIR}}{R_{SWIR} + R_{NIR}} \quad \text{رابطه (۹)}$$

در رابطهٔ فوق R_{SWIR} مقادیر بازتابی موج کوتاه باند مادون قرمز (SWIR) و R_{NIR} مقادیر بازتابی نزدیک به مادون قرمز (NIR) را بیان می‌کنند.

(چ) تهیهٔ نقشه DEM

برای دستیابی به نقشه DEM از محصولات ارائه شده توسط ماهواره ALOS Palsar با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر (www.vertex.daac.asf.alaska.edu) استفاده شده است.

(ح) تهیهٔ نقشه شیب

این لایه از مشتقات لایه DEM بوده و با همان مشخصات، استخراج شده است.

(خ) تهیه نقشه بارندگی

برای تهیه نقشه میانگین بارندگی از محصولات سایت (CHIRIPS) استفاده شد. برای دستیابی به محصولات مربوطه از وبسایت (www.chc.ucsb.edu/data/chirips) استفاده شد (Funk et al., 2015).

(د) تهیه نقشه سرعت باد

اگر سرعت باد از آستانه‌ای فراتر رود، ذرات گردوغبار را از سطح زمین جدا کرده و در جو پراکنده می‌کند. برای تهیه نقشه سرعت باد از محصولات Terra Climate که مجموعه داده‌ای از آب‌وهوای ماهانه و رژیم‌های هیدرولوژیکی آب‌وهوا در سطح جهان است، استفاده شده است. این داده‌ها اطلاعات مهمی را برای مطالعات اکولوژیکی و هیدرولوژیکی جهانی فراهم می‌کند که به‌وضوح فضایی بالا و داده‌های متغیر زمان نیاز دارد. وضوح زمانی و تفکیک مکانی ماهانه همه داده‌ها تقریباً ۴ کیلومتر (۲۴/۱ درجه) است.

با تعیین مجموعه‌ای از معیارها برای ارزیابی گزینه‌های تصمیم‌گیری، لازم است که هر معیار به‌صورت یک‌لایه نقشه در پایگاه داده‌های GIS ذخیره شود. در اندازه‌گیری صفات، دامنه متنوعی از مقیاس‌ها مورد استفاده قرار

می‌گیرد. بر همین اساس، لازم است تا ارزش‌های موجود در لایه‌های مختلف نقشه به واحدهای قابل‌مقایسه و در تناسب با هم تبدیل شوند. با انجام این کار، نقشه‌های استاندارد و قابل‌مقایسه به دست خواهد آمد (Baharvand et al., 2017).

برای استانداردسازی از روش منطق فازی استفاده شد. در منطق فازی، ارزش‌ها در بازه صفر تا یک قرار می‌گیرند (محمدیان و گنجائیان، ۱۴۰۲). در به‌کارگیری روش فازی، تابع عضویت و چگونگی تعریف آن از اهمیت بالایی برخوردار است و تابع عضویت را می‌توان به صورت درجه تعلق عناصر مجموعه مرجع به زیرمجموعه‌های آن تعریف کرد (بهاروند و همکاران، ۱۳۹۶)؛ بنابراین، با استفاده از ابزار Fuzzy membership در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.8، اقدام به استانداردسازی این لایه با استفاده از توابع عضویت افزایشی - کاهش‌ی شد. برای تلفیق لایه‌های از توابع همپوشانی فازی مانند AND، Gamma و OR استفاده شد. ابتدا هر کدام از نقشه‌های معیار در وزن به‌دست‌آمده از روش AHP ضرب و سپس لایه‌های نهایی با یکدیگر تلفیق و در نهایت کانون‌های با پتانسیل تولید گردوغبار در جنوب شرقی دریاچه ارومیه شناسایی شدند.

فرایند AHP یک روش ساده محاسباتی بر پایه عملیات اصلی روی ماتریس است که با ایجاد سلسله‌مراتب مناسب و پردازش گام‌به‌گام و ساخت ماتریس‌های تطبیقی در سطوح مختلف سلسله‌مراتب، مقادیر ویژه آن را محاسبه کرده و در بردار ضرایب وزنی نهایی، اهمیت نسبی هر گزینه باتوجه به هدف رأس سلسله‌مراتب تعیین می‌شود (Mohammadian and Ganjaeian, 2023). جزء روش‌های چندمعیاره است که با شناسایی و اولویت‌بندی عناصر تصمیم‌گیری شروع می‌شود. این عناصر شامل هدف، معیارها یا مشخصه‌ها و گزینه‌های احتمالی هستند. جهت ارزش‌دهی نهایی به معیارها از روش تطبیقی دودوئی بهره گرفته می‌شود که در آن دو معیار با همدیگر مقایسه و بر اساس میزان اهمیت آن‌ها و باتوجه به هدف ما از تحلیل، ارزش‌های متفاوت می‌گیرند.

بعد از به‌دست‌آوردن وزن‌های نهایی لایه‌های اطلاعاتی اقلیمی و غیر اقلیمی اقدام به برهم‌نهی این لایه‌ها باتوجه به وزن‌های اختصاص داده شده به آن‌ها بر اساس الگوریتم AHP می‌شود. برای این کار ابتدا با استفاده از قابلیت نرم‌افزار GIS تمامی لایه‌ها تبدیل به لایه‌های رستری با اندازه پیکسلی یکسان گردید. به طوریکه با به‌کارگیری تابع باز نمونه‌گیری (Resampling) ابتدا تمامی لایه‌ها به ابعاد پیکسلی ۳۰ متری تبدیل گردید. در نهایت فرایند برهم‌نهی صورت گرفت و نقشه نهایی که برآیند کلی تمامی لایه‌های اطلاعاتی مورد نظر با تأثیر وزن‌های ارائه شده است، تهیه شد.

در این بخش اقدام به بررسی و ارائه طبقه‌بندی هرکدام از عوامل و فاکتورهای تأثیرگذار در شناسایی نواحی مستعد تبدیل شدن به کانون گردوغبار ارائه می‌گردد.

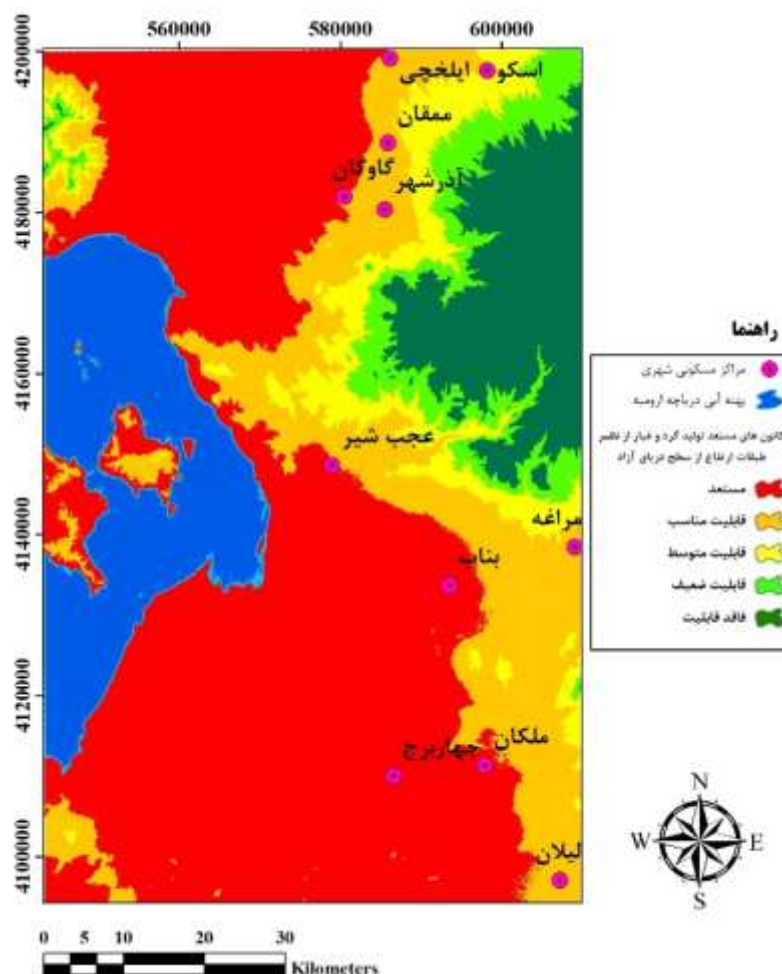
۳-۱- فاکتورهای توپوگرافی

در تشکیل کانون‌های گردوغبار عامل ارتفاع به‌خودی‌خود نقش مستقیم ایفا نمی‌کند؛ بلکه از طریق تأثیرگذاری بر سایر عوامل محیطی از قبیل بارش، دما، رطوبت، پوشش گیاهی و خاک، می‌تواند شرایط تشکیل کانون‌های گردوغبار را محدود یا تشدید نماید. در ارتفاعات به دلیل وجود شیب، ممکن است منابع شن و ذرات ریز که منبع تغذیه کانون‌های گردوغبار است به‌اندازه کافی در دسترس نباشد. در این مناطق رطوبت نسبی هوا بالا بوده و دمای سطح زمین نیز به دلیل رقیق بودن هوا نوسان بالایی دارد. به‌طور کلی نواحی هموار که دارای منابع تأمین شن و گردوغبار مناسب هستند، در ارتفاعات پایین‌تر، فراوانی بالاتری دارند (حیدری و همکاران، ۱۳۹۹) درحالی‌که در ارتفاعات بالاتر بارش و میزان ماندگاری آن نیز بیشتر است. بدین ترتیب ارتفاعات کمتر، شرایط مناسب‌تری برای تولید و توسعه کانون گردوغبار به دست می‌دهد. مطابق جدول ۳، برای تهیه نقشه طبقه‌بندی ارتفاع در محدوده مورد مطالعه، از داده‌های مدل رقومی ارتفاع زمین استفاده گردید (شکل ۳).

جدول (۳): طبقه‌بندی ارتفاع بر اساس نقش‌آفرینی در تولید کانون‌های مستعد گردوغبار

Table (3): Elevation classification based on role in the production of dust sources

ارتفاع (متر)	توصیف قابلیت
۱۲۰۰-۱۳۰۰	مستعد تشکیل کانون
۱۳۰۰-۱۵۰۰	قابلیت مناسب برای تشکیل کانون
۱۵۰۰-۱۷۰۰	قابلیت متوسط برای تشکیل کانون
۱۷۰۰-۱۹۰۰	با قابلیت ضعیف
بیشتر از ۱۹۰۰	فاقد قابلیت



شکل (۳): طبقه‌بندی عامل ارتفاع بر اساس نقش آفرینی در تولید کانون‌های مستعد گردوغبار

Fig. (3): Elevation classification based on role in the production of dust sources

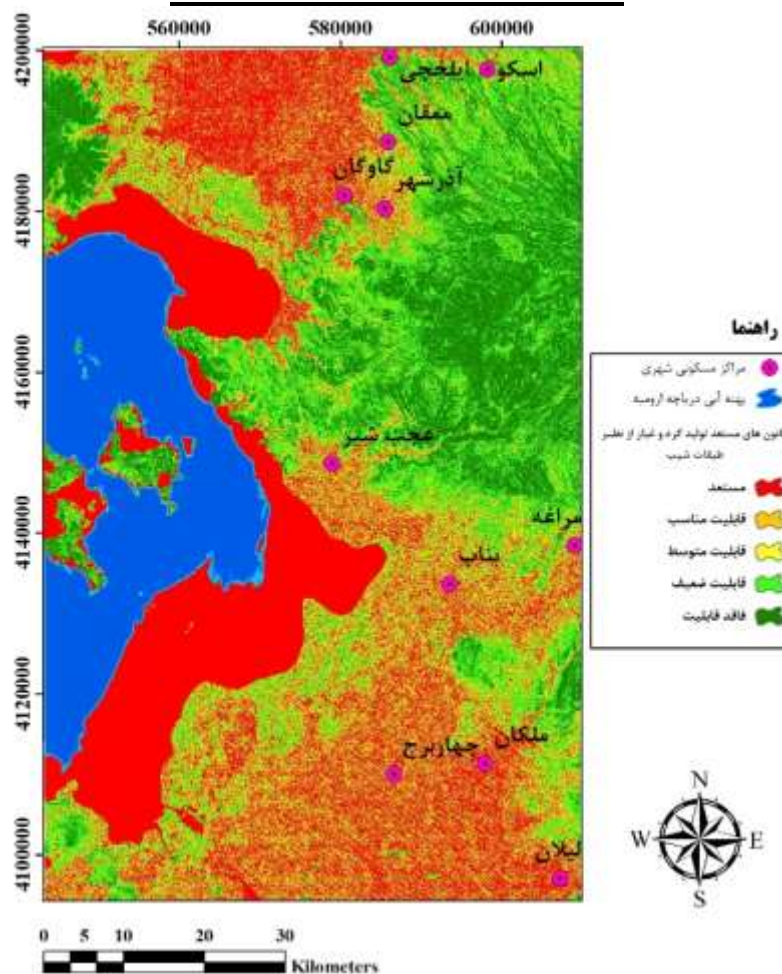
عامل شیب نیز به عنوان یکی از زیر فاکتورهای توپوگرافیک نقش مهمی در ایجاد و توسعه کانون‌های گردوغبار ایفا می‌کند. شیب از یک طرف با محدود کردن قابلیت نگهداشت آب در خاک باعث زهکشی آب خاک شده و رطوبت خاک را کاهش می‌دهد؛ اما از طرف دیگر در شیب‌های تند امکان تشکیل و تکامل خاک و ذرات ریز وجود ندارد. شیب‌ها در دامنه‌های رو به آفتاب معمولاً از لحاظ رطوبت هوا و خاک خشک‌تر از شیب‌های پشت به آفتاب هستند. به طور کلی نواحی هموار با شیب‌های بین صفر تا ۳ درصد شرایط مناسب‌تری برای تشکیل

کانون‌های گردوغبار فراهم می‌کنند و مطالعات (Prospero et al., 2002) نشان داده است که غالب کانون‌های گردوغبار در این دامنه از شیب‌ها قرار گرفته است. در جدول ۴، طبقه‌بندی شیب‌های محدوده ارائه شده است. شکل ۴، وزن گذاری لایه شیب را مشخص می‌سازد. در محدوده مورد مطالعه باتوجه به جدول ۴، آستانه ۳-۰ درصد مناسب‌ترین شیب در نظر گرفته شده است.

جدول (۴): طبقه‌بندی شیب بر اساس قابلیت تولید گردوغبار بر اساس مطالعه (Prospero et al., 2002)

Table (4): Slope classification based on role in the production of dust sources

شیب (درصد)	توصیف قابلیت
۰-۳	مستعد تشکیل کانون
۳-۵	قابلیت مناسب برای تشکیل کانون
۵-۷	قابلیت متوسط برای تشکیل کانون
۷-۲۰	با قابلیت ضعیف
بیشتر از ۲۰	فاقد قابلیت

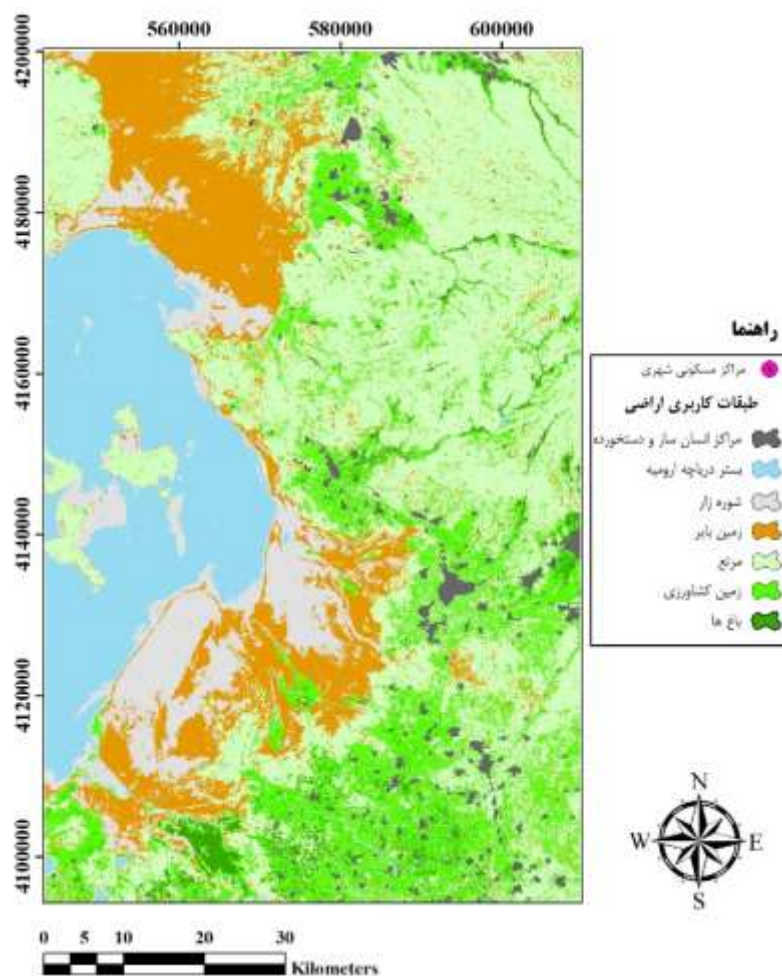


شکل (۴): لایه طبقه‌بندی عامل شیب در محدوده مورد مطالعه بر اساس نقش آن در تشکیل کانون گردوغبار

Fig. (4): Slope classification based on role in the production of dust sources

۲-۳- عامل کاربری اراضی

عامل کاربری اراضی، یکی از فاکتورهای مؤثر در تولید گردوغبار محسوب می‌گردد. زمین‌های بایر و شوره‌زارها مستعد تبدیل به کانون گردوغبار است. چرا که با ازدست‌دادن رطوبت و با افزایش سرعت باد، ذرات به‌صورت معلق در هوا درآمده و باعث بروز مشکلات در محدوده تأثیر خواهند شد. در شکل ۵، طبقات کاربری اراضی نشان داده شده است. در جدول ۵، مساحت هر یک از طبقات کاربری بر حسب هکتار بیان شده است. کاربری‌های مربوط به شوره‌زارها، زمین‌های بایر و مراکز انسان‌ساز و دست‌خورده از کاربری‌های نقش‌آفرین در تولید گردوغبار محسوب شده‌اند.



شکل (۵): طبقات کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه

Fig. (5): Land use classes in the studied area

جدول (۵): مساحت طبقات کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه

Table (5): Land use classes in the studied area

ردیف	طبقات کاربری اراضی	مساحت (هکتار)
۱	مراکز انسان ساخت و دست خورده	۶۵۵۹۲
۲	بستر دریاچه ارومیه	۱۰۵۵۰۰
۳	شوره زار	۲۸۵۳۳۸
۴	زمین بایر	۱۰۹۹۰۴
۵	مرتع	۱۸۶۱۰
۶	زمین کشاورزی	۱۰۱۴۱۴
۷	باغ ها	۱۶۲۲۹

در جدول ۶ وزن‌های نهایی هرکدام از عناصر ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، عامل رطوبت خاک مهم‌ترین و بااهمیت‌ترین عامل در تعیین و شناسایی مناطق مستعد تبدیل‌شدن به کانون گردوغبار هست. وزن این عامل در تعیین و شناسایی مناطق مستعد کانون گردوغبار برابر ۰/۲۶۴ بوده است. عامل شیب در کنار سایر عناصر از کم‌اهمیت‌ترین عواملی است که می‌توانند در تولید و توسعه کانون‌های گردوغبار در محدوده مورد مطالعه ایفای نقش کنند. وزن این فاکتور در شناسایی نواحی مستعد تشکیل کانون گردوغبار برابر ۰/۰۲۰ است. شاخص ناسازگاری محاسبه شده برای این وزن گذاری همان‌طور که در جدول ۶ ارائه شده است برابر ۰/۰۱۵ بوده است که بیانگر آن است که میزان تناقض بین وزن‌های ارائه شده شاخص‌ها نسبت به یکدیگر، کمتر از آستانه مجاز (۱) است.

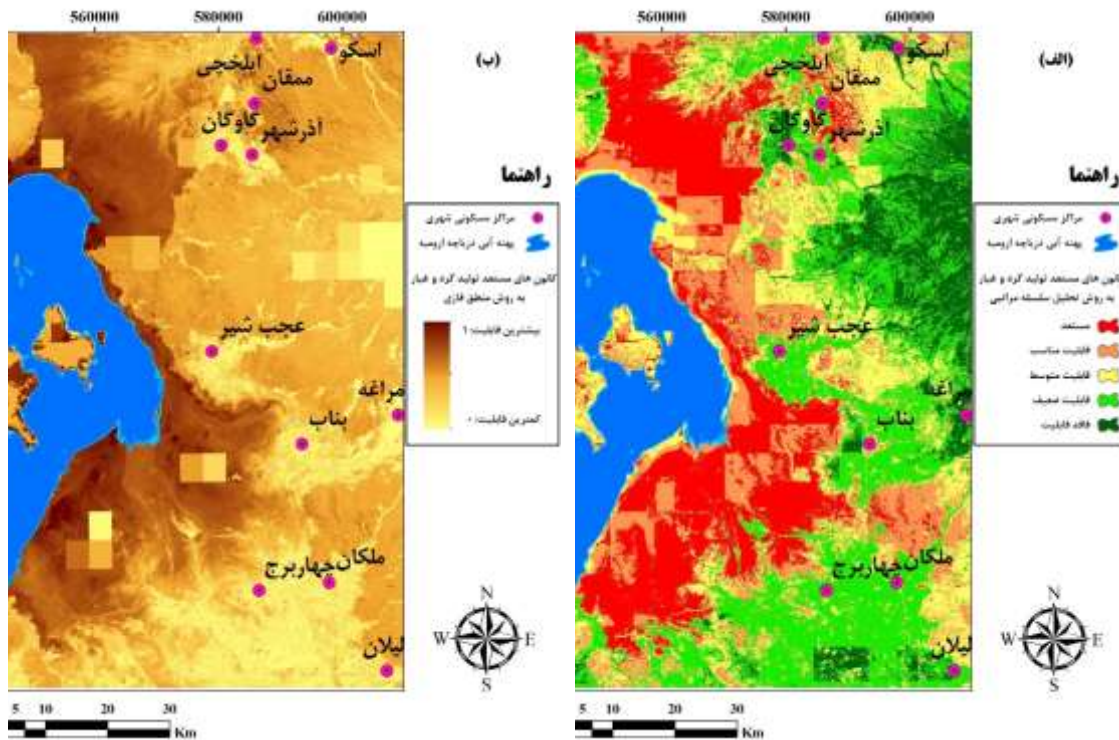
جدول (۶): ماتریس وزن‌های نهایی هر کدام از لایه‌های مؤثر در تشکیل و توسعه کانون‌های محلی گردوغبار در محدوده

مورد مطالعه

Table (6): The matrix of the final weights of each of the effective layers in the formation and development of local dust centers in the studied area

نوع المان	فاکتور مؤثر	وزن استنتاجی از روش AHP
عناصر یا المان‌های پایدار	ارتفاع	۰/۰۲۴
	شیب	۰/۰۲۰
	کاربری اراضی	۰/۰۸۱
	بارش	۰/۱۰۷
عناصر یا المان‌های ناپایدار	دمای سطح زمین	۰/۰۶۴
	سرعت باد	۰/۱۵۳
	پوشش گیاهی	۰/۲۰۸
	شوری خاک	۰/۰۸۱
نسبت ناسازگاری (CR)	رطوبت خاک	۰/۲۶۴
		۰/۰۱۵
	حد مجاز نسبت ناسازگاری	۱

نقشه نهایی به دست آمده از فرایند برهم‌نهی وزن دار لایه‌های مورد بررسی که وزن‌های آن‌ها در جدول ۶ ارائه شده بود، به صورت نقشه شکل ۶ (الف) ارائه شده است. در شکل ۶ (ب) نتیجه نهایی استفاده از روش منطق فازی برای مشخص کردن کانون‌های مستعد تولید گردوغبار نیز ارائه شده است که با مقایسه این دو نقشه، می‌توان به صحت شناسایی کانون‌ها پی برد.

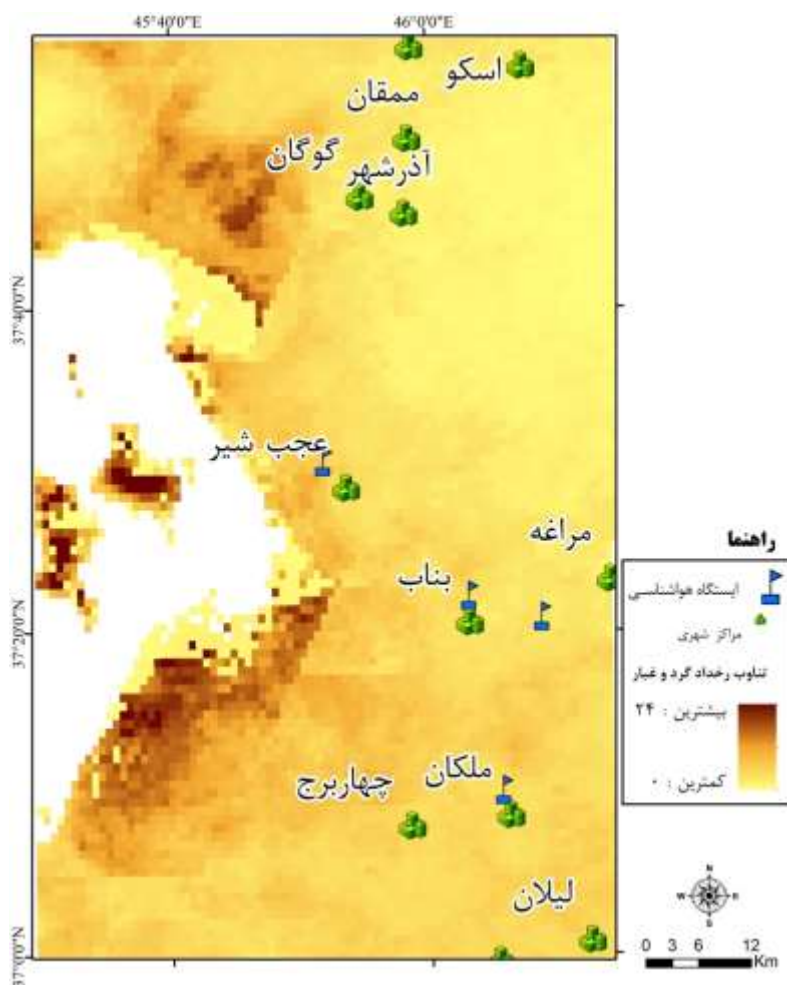


شکل (۶): نقشه نهایی ارزیابی قابلیت ایجاد و توسعه کانون‌های محلی گردوغبار در محدوده مورد مطالعه با در نظرگیری هم‌زمان فاکتورهای محیطی و اقلیم‌شناختی (الف) با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی، (ب) با استفاده از منطق فازی (تذکر: در شکل (ب) به دلیل پیکسل‌های بزرگ برای المان‌های اقلیمی (بارندگی و سرعت باد) باعث بروز مشکلات در بصری‌سازی تصاویر هستیم. برای جلوگیری از دست‌کاری اطلاعات حاصله به منظور رفع مشکل به وجود آمده خودداری گردید).

Fig. (6): The final map of the assessment of the possibility of creating and developing local dust sources in the studied area by simultaneously considering environmental and climatological factors a) using hierarchical analysis, b) using fuzzy logic (note: in figure (b) due to pixels Large values for climatic elements (rainfall and wind speed) cause problems in the visualization of images. In order to prevent the manipulation of the resulting information in order to solve the problem, it was avoided.

باتوجه به ناکافی بودن تراکم ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی در محدوده مورد مطالعه، امکان ارزیابی صحت نقشه‌های تولیدی با داده‌های اداره هواشناسی استان آذربایجان شرقی با مشکل مواجه گردید. برای صحت‌سنجی نقشه‌های تولیدی، از نقشه تناوب رخداد گردوغبار استخراجی در سامانه GEE استفاده شده است. برای تولید نقشه تناوب رخداد گردوغبار، از محصول عمق نوری هواویزها (Aerosol Optical Depth) از محصول

(MCD19A2.006: Terra And Aqua MAIAC Land Aerosol optical Depth 1km) با اندازه پیکسل $1\text{km} \times 1\text{km}$ استفاده شده است. در حقیقت، AOD صرفاً نشان‌دهنده گردوغبار نیست، بلکه اطلاعات آئروسول‌ها و ذرات موجود در جو را نیز شامل می‌شود. با این حال، بررسی‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد که بین گردوغبار و پروداکت AOD مادیس، رابطه خطی برقرار است. هرچه مقدار AOD بیشتر باشد، میزان گردوغبار موجود در جو نیز بیشتر است. اگر مقدار AOD بیش از ۰/۵ باشد، بیانگر یک رخداد گردوغبار است. مقدار عددی هر پیکسل نشان‌دهنده تعداد رخداد‌های گردوغبار در آن است؛ برای مثال، یک پیکسل با مقدار عددی ۱۰ یعنی طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰، ۱۰ بار در آن پیکسل گردوغبار رخ داده است (شکل ۷).



شکل (۷): نقشه تناوب رخداد گردوغبار

Fig. (7): Dust occurrence frequency map

در جدول ۷، آمار مربوط به رخدادهای گردوغبار ایستگاه‌های سینوپتیک در محدوده مطالعاتی آورده شده است که نشان می‌دهد که در طول دوره آماری در محدوده مطالعاتی، فعالیت گردوغباری در ایستگاه‌های سینوپتیک وجود داشته است؛ ولی به دلیل عدم نصب تجهیزات سنجش کیفیت هوا، امکان اندازه‌گیری غلظت گردوغبار میسر نگردیده است که باتوجه به شرایط موجود نیاز است که ایستگاه‌های سنجش کیفیت جهت پایش فعالیت‌های گردوغباری، مدنظر تصمیم‌گیران باشد. باتوجه به شکل ۸، مشاهده می‌گردد که در طی سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰، به دلیل وجود بارش، مقادیر رخداد گردوغبار در تمامی ایستگاه‌ها کاهش چشمگیری داشته است.

جدول (۷): دفعات رخدادهای گردوغبار ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک محدوده مطالعاتی

Table (7): The frequency of dust occurrences recorded in the synoptic stations of the study area

ایستگاه	سال	مراغه	ملکان	بناب	عجب‌شیر
۲۰۱۳	۱۰۰	۵۰	۹۶	۲۲	
۲۰۱۴	۳۸	۱۲	۵۴	۱۰	
۲۰۱۵	۱۱۷	۶۰	۸	۲۹	
۲۰۱۶	۱۷۴	۷۱	۵۹	۱۸	
۲۰۱۷	۸۴	۴۶	۷۲	۱۸	
۲۰۱۸	۷۳	۳۶	۳۹	۱۱	
۲۰۱۹	۹	۷	۲۹	۰	
۲۰۲۰	۴	۶	۱	۲	



شکل (۸): دفعات رخداد گردوغبار در ایستگاه‌های سینوپتیک

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش به منظور شناسایی کانون‌های مستعد گردوغبار از مهم‌ترین عناصر مؤثر در تولید گردوغبار از جمله سرعت باد، بارش، دمای سطح زمین، رطوبت خاک، شوری خاک، کاربری اراضی، ارتفاع از سطح دریاهای آزاد، شیب زمین و شاخص پوشش گیاهی استفاده شد. بر اساس نقشه کاربری اراضی، کاربری‌هایی از جمله پهنه آبی، زمین‌های بایر، شوره‌زارها، مراتع، باغات و مناطق ساخته‌شده در روند تحلیل مورد تجزیه و تحلیل قرار

گرفتند. هرکدام از کاربری‌ها نیز دارای ارزش خاص خود در تولید گردوغبار هستند که متفاوت از دیگر کاربری‌ها است. بر اساس نقشه کاربری اراضی، مناطق بایر و شوره‌زارها از قابلیت بالایی و در مقابل مناطق دارای پوشش گیاهی و پهنه آبی فاقد قابلیت تولید گردوغبار بوده‌اند. بر اساس مطالعات صورت‌گرفته (Tyba et al) به این نتیجه رسیده‌اند که مکان‌های با زبری کمتر، رطوبت کمتر خاک و حداقل پوشش گیاهی با ریسک بسیار بالایی در تولید گردوغبار مواجه هستند. در مطالعه‌ای که Engelstadler (2001) انجام داد، نشان داد که تولید گردوغبار به نوعی واکنش به تغییر پوشش گیاهی زمین است و نتایج به دست آمده در پژوهش نیز به نوعی موید و مشابه این موضوع است. به طوریکه مناطق شناسایی شده فاقد پوشش گیاهی بوده و زمین‌های بایر و لختی می‌باشند که در اثر پسروی آب دریاچه به وجود آمده‌اند. همچنین مطابق نتایج به دست آمده از مطالعات رایگانی و همکاران (۱۳۹۶) و فلاح زوزولی و همکاران (۱۳۹۸)، عنصر سرعت باد نیز در تشدید وضعیت ایجاد گردوغبار مؤثر بوده است. با عنایت به این موضوع که ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد و از طرفی در سال‌های اخیر به دلیل خشکسالی‌های متوالی و دست‌اندازی انسان و مدیریت غلط منابع آبی، دریاچه ارومیه دستخوش تغییرات قرار گرفته است و یکی از نتایج حاصل از خشک شدن بستر دریاچه ارومیه، تبدیل بستر آن به کانون گردوغبار است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که عناصر رطوبت خاک، پوشش گیاهی، سرعت باد و بارندگی از اهمیت بسیار بالایی در تولید گردوغبار برخوردارند ولی مجموعه‌ای از عوامل نیز در تشکیل کانون‌های مستعد تولید گردوغبار نقش ایفا نموده‌اند که از آن جمله می‌توان به نقش کاربری اراضی نیز اشاره نمود (بروغانی و پورهاشمی، ۱۳۹۸). بر اساس مدیریت ناصحیح منابع آبی و پسروی آب دریاچه ارومیه، چرای بیش از حد دام، دست‌اندازی انسان در محیط همچون بهره‌برداری از معادن، بیابان‌زایی به واسطه رهاسازی زمین‌های کشاورزی، خشکسالی‌های متمادی و سایر عوامل، مناطق حاشیه دریاچه ارومیه تبدیل به کانون‌های بالقوه تولید گرد و غبار شده‌اند که در صورت ادامه چنین روندی، به کانون‌های بالفعل گرد و غبار تبدیل خواهند شد. همانطور که در اشکال ۶ و ۷ نیز قابل رویت است، شهرهای عجب‌شیر، بناب، گوگان از استان آذربایجان شرقی و شهر چهاربرج از استان آذربایجان غربی، بیشترین خسارت‌ها و صدمات را به دلیل نزدیکی به کانون‌ها

مستعد تولید گردوغبار را تجربه می‌نمایند. باتوجه به وجود روستاهای متعدد در نزدیکی مناطق مستعد شناسایی شده، بیشترین صدمات تحمیل این مناطق خواهد شد. برای مشخص شدن تأثیرات ناشی از گردوغبار محلی در این مناطق، نیاز است مطالعات وسیع‌تری در آینده با بازه زمانی مناسب مدنظر قرار گیرد. باتوجه به اثرات متعدد جانی، مالی و زیست‌محیطی گردوغبار، پیشنهاد می‌گردد به منظور مقابله با طوفان‌های گردوغبار نسبت به تثبیت بستر دریاچه ارومیه، ایجاد پوشش گیاهی بالاخص گیاهان شورپسند، جلوگیری از گسترش فعالیت‌های کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مدیریت یکپارچه و صحیح منابع آبی، جلوگیری از تخریب مراتع و تبدیل آن به مراتع فقیر، سیاست‌گذاری در اصول مصرف منابع آبی، آموزش کشاورزان در نحوه استفاده از منابع آبی، پهنه‌بندی استفاده از منابع آبی و مدیریت صحیح آن با الویت حساسیت به تبدیل شدن کانون مستعد تولید گردوغبار اقدامات عاجل مدنظر تصمیم‌گیران حوضه آبریز دریاچه ارومیه قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از زحمات اساتید راهنما و مشاوران محترم، دوست عزیزم جناب آقای مهندس سجاد مشیری و همسر عزیزم که مرا در پیشبرد اهدافم یاری نموده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

۵-منابع

- Alizadeh Govarchin Ghale, Y., Tayanc, M., And Unal, A. (2021). Dried bottom of Urmia Lake as a new source of dust in the northwestern Iran: Understanding the impacts on local and regional air quality. *Atmospheric Environment*, 262, 118635. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118635>
- Ansari ghoghhar, M., Pourgholam-Amiji, M., Bazrafshan, J., Liaghat, A., And Araghinejad, S. (2020). Performance Comparison of Statistical, Fuzzy and Perceptron Neural Network Models in Forecasting Dust Storms in Critical Regions in Iran. *Iran J Soil Water Res.*, 51(8), 2051-2063. (In Persian)
- Arami, S. A., Ownegh, M., Mohammadian Behbahani, A., Akbari, M., And Zarasvandi, A. (2018). The analysis of dust hazard studies in southwest region of Iran in 22 years (1996-2017). *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 5(1), 39-66. (In Persian)
- Avdan, U., And Jovanovska, G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of Sensors*, 34, 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1155/2016/1480307>
- Baharvand, S., Soori, S., And Rahnema Rad, J. (2017). Environmental hazards zonation landslide, earthquake, flood and erosion using AHP Fuzzy method (Case study: Vark Basin). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 8(3), 89-103. (In Persian)
- Barhagh, S. E., Zarghami, M., Ghale, Y. A. G., And Shahbazbegian, M. R. (2021). System dynamics to assess the effectiveness of restoration scenarios for the Urmia Lake: A prey-predator approach for the human-environment uncertain interactions. *Journal of Hydrology*, 593, 125891.
- Boroughani, M., And Pourhashemi, S. (2019). Susceptibility Zoning of Dust Source Areas by Data Mining Methods over Khorasan Razavi Province. *Environmental Erosion Research Journal*, 9(3), 1-22. (In Persian)

- Drisya, J., And Roshni, T. (2018). Spatiotemporal variability of soil moisture and drought estimation using a distributed hydrological model. In *Integrating disaster science and management* (pp. 451-460). Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812056-9.00027-0>.
- Engelstädter, S. (2001). *Dust storm frequencies and their relationship to land surface conditions* (Doctoral dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena).
- Fallah Zazuli, M., Vafaeinezhad, A., Kheirkhah Zarkesh, M.M., Ahmadi Dehka, F. (2019). Monitoring and Synoptic Analysis of Dust Haze Phenomenon using Remote Sensing and GIS (Case study: June 18, 2012 Dust haze). *Iran J Soil Water Res*, 6(91), 69-80. DOI: <https://doi.org/10.22131/sepehr.2014.12863> (In Persian)
- Feizizadeh, B.; Lakes, T.; Omarzadeh, D.; Sharifi, A.; Blaschke, T.; Karmizadeh, S.M. 2022. Scenario-based analysis of the impacts of lake drying on sustainable food production. *Nat. Sci. Rep.* DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-934137/v1>
- Fensholt, R., And Sandholt, I. (2003). Derivation of a shortwave infrared water stress index from MODIS near-and shortwave infrared data in a semiarid environment. *Remote Sensing of Environment*, 87(1), 111-121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.07.002>.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S.,... And Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data*, 2(1), 1-21. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>.
- Garajeh, M. K., Malakyar, F., Weng, Q., Feizizadeh, B., Blaschke, T., And Lakes, T. (2021). An automated deep learning convolutional neural network algorithm applied for soil salinity distribution mapping in Lake Urmia, Iran. *Science of The Total Environment*, 778, 146-253. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146253>
- Heidari, H., Yarahmadi, D., And Karampour, M. (2020). Identification of potential sources of dust in Lorestan province. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 7(3), 95-106. (In Persian)
- <http://Idas.gsfc.nasa.gov>
- <http://vertex.daac.asf.alaska.edu>
- <http://www.chc.ucsb.edu>
- Jamalpour Bergaini, S., Ahmadi, H., Moeini, A., And faraji, M. (2021). Detection of dust sources by land use type, using remote sensing techniques and fuzzy logic, case study: south-east Ahwaz. *Journal Of Watershed Engineering and Management*, 13(2), 255-268. (In Persian)
- Jiang, J., And Tian, G. (2010). Analysis of the impact of land use/land cover change on land surface temperature with remote sensing. *Procedia environmental sciences*, 2, 571-575. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.062>

- Katushabe, C., Kumaran, S., And Masabo, E. (2021). Fuzzy Based Prediction Model for Air Quality Monitoring for Kampala City in East Africa. *Applied System Innovation*, 4(3), 44. DOI: <https://doi.org/10.3390/asi4030044>
- Killeen, P. G., Mwenifumbo, C. J., And Ford, K. L. (2015). Tools and techniques: radiometric methods. *Treatise on geophysics*, 447-524. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53802-4.00209-8>
- Mohammadian, K., and Ganjaeian, H. (2023). Evaluation and determination of land use according to the morphological condition of the river (Case study: Saimareh River). *Application of remote sensing and GIS in environmental sciences*, 3(9), 63-80. (In Persian)
- Prospero, J. M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S. E., And Gill, T. E. (2002). Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of geophysics*, 40(1), 2-1. DOI: <https://doi.org/10.1029/2000RG000095>
- Raygani, B., Kheyrandish, Z., Kermani, F., Mohammadi Miyab, M., And Torabiniya, A. (2017). Identification of active dust sources using remote sensing data and air flow simulation (Case study: Alborz province). *Desert Management*, 4(8), 15-26. (In Persian)
- Shayesteh, K., Gharibi, S., Safikhani, M., And Arabi, S.A. (2020). Identifying Dust generation potential sources using fuzzy logic in Hamadan province. *Quarterly Journal of Environmental Erosion Research*, 10(2), 59-74. (In Persian)
- Tyba, A., Qaragozlu, A., Almodaresi, S.A., And Abdollahi, H. 2014. Detection and Monitoring of Dust. *21th National Geometrics Conference*. 21.
- Wu, W., 2014. The generalized difference vegetation index (GDVI) for dryland characterization. *Remote Sensing*. 6, pp. 1211–1233. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs6021211>
- Yassin, M. F., Almutairi, S. K., And Al-Hemoud, A. (2018). Dust storms backward Trajectories' and source identification over Kuwait. *Atmospheric research*, 212, 158-171. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.05.020>



Identifying Potential Areas to Dust generation using fuzzy logic and AHP in the Southeast of Urmia Lake

Abstract

In addition to natural disasters such as floods, which cause great damage to the environment and human societies, the phenomenon of dust also causes irreparable damage to urban environments, transportation systems, respiratory systems, etc. Identifying Potential Dust Source Areas is considered the first step to control and prevent this phenomenon. Various researches have been conducted to identify dust sources, but most studies have relied on small-scale images. This research aims to use medium-scale satellite images to identify local areas prone to dust production. Google Earth Engine was used to analyze factors influencing dust generation, including slope, Digital Elevation Model (DEM), land use, soil salinity, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), soil moisture, wind speed, precipitation, and Land Surface Temperature (LST). Analytical Hierarchy Process (AHP) was used to assign weights to these elements. The resulting weights were: soil moisture (0.264), NDVI (0.208), wind speed (0.153), precipitation (0.107), land use/soil salinity (0.081), LST (0.064), DEM (0.024), and slope (0.020). The inconsistency index (0.015) indicated a high degree of consistency between the assigned weights, which is below the acceptable threshold (1). Due to the lack of ground-based air quality measurements, the Aerosol Optical Depth product (a satellite-derived measurement of airborne particles) was used to validate the resulting dust source maps. The final map showed that the potential for dust generation decreased closer to the heights of Sahand and increased closer to the lake.

Keywords: Dust, Urmia Lake, Geographical Information System, Google Earth Engine, AHP, Fuzzy Logic.