

شناسایی منشأهای داخلی توفان‌های گردوغبار با استفاده از سنجش از دور، GIS و زمین‌شناسی (مطالعه موردی: استان خوزستان)

پیمان حیدریان^۱، علی اژدری^۲، محمد جودکی^۳، جواد درویشی خاتونی^۱ و رضا شهبازی^۲

^۱ کارشناسی ارشد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، منطقه جنوب باختری (مرکز اهواز)، اهواز، ایران

^۲ دکترا، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، منطقه جنوب باختری (مرکز اهواز)، اهواز، ایران

^۳ دکترا، مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۱۸

چکیده

توفان گردوغبار زیان‌های هنگفتی در ایران، به‌ویژه استان خوزستان به وجود آورده است. از این رو، نیاز مبرمی به پهنه‌بندی منشأهای گردوغبار به عنوان اولین گام در مبارزه با این توفان‌ها وجود دارد. شناسایی دقیق منشأهای داخلی گردوغبار استان خوزستان، با به کارگیری روش ترکیبی سنجش از دور، GIS و رسوب‌شناسی هدف مطالعه حاضر است. برای این منظور، داده‌های مکانی خاک‌شناسی، کاربری زمین، اقلیم، شیب (گردآوری از سازمان مربوطه) و رسوب‌شناسی به عنوان لایه‌های محدود کننده و لایه پوشش گیاهی، دمای سطح زمین و رطوبت خاک به عنوان لایه‌های اصلی استفاده شدند. نقشه رسوب‌شناسی منطقه با نمونه‌برداری میدانی (۹۰۰ نمونه) و روش‌های دورسنجی تهیه شد. همچنین لایه‌های اصلی با اجرای پردازش‌های محاسباتی لازم روی تصاویر ماهواره لندست ۸ استخراج شدند. لایه‌های محدودیت برای حذف مناطق بدون پتانسیل تولید گردوغبار به کار گرفته شد. در مرحله بعد وزندهی لایه‌های اصلی با بکارگیری روش مقایسات زوجی و روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) صورت گرفت. پس از ضرب هر لایه اصلی در وزن منطقی، تلفیق پایانی لایه‌ها انجام شد و نقشه مناطق منشأ گردوغبار به دست آمد. برای درستی نتایج، بازدید میدانی در ۱۸۰ نقطه از منشأها صورت گرفت که گویای دقت بالای مناطق شناسایی شده است. نتایج نشان می‌دهد که ۹ درصد از مساحت دشت خوزستان، معادل ۳۴۹۲۵۴ هکتار منشأهای تولید گردوغبار هستند. کانون‌های گردوغبار بر پایه نوع کاربری و مساحت، به ترتیب شامل مراتع تخریب شده، زمین‌های کشاورزی دیم رها شده، زمین‌های بدون پوشش، تالاب‌ها و آبگیرهای خشک شده و زمین‌های کشاورزی آبی هستند.

کلیدواژه‌ها: توفان‌های گردوغبار، شناسایی منشأ گردوغبار، سنجش از دور، رسوب‌شناسی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، استان خوزستان.

Email: Peyman.2012RS@Gmail.com

*نویسنده مسئول: پیمان حیدریان

۱- پیش‌نوشتار

توفان‌های گردوغبار یکی از پدیده‌های چیره در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به شمار می‌رود و با توجه به اثرات شگرف در مسائل اقتصادی-اجتماعی، سلامتی انسان و محیط زیست، به یک نگرانی جهانی تبدیل شده است (Cao et al., 2015). این توفان‌ها در بیشتر موارد از بادهای آشفته (جبهه‌ها و همرفت‌ها) و نیرومند و سایش سطوح بیابانی حاصل می‌شوند و مقادیر زیادی گردوغبار را از سطوح نرم و ریز بیابان بلند می‌کنند و توانایی دید را به کمتر از ۱۰۰۰ متر می‌رسانند. بیشتر این ذرات رس و سیلت هستند و قطر آنها از ۵ تا ۳۰ میکرون است (Goudie, 2014; Cao et al., 2015). توفان‌های گردوغبار در مواردی مانند بیلان تابشی، دمای هوا، طول عمر و خواص اپتیکی ابر (Wong and Dessler, 2005)، فرایندهای بارش، ژئوشیمی مناطق تحت تأثیر (Menendez et al., 2007)، چرخه بیورژوشیمیایی زمینی و دریایی، فرایندهای هیدرولوژیکی و جلوه‌های بصری و زیبایی‌شناختی اختلال ایجاد می‌کنند و از این راه بوم‌سامانه کره زمین و همچنین سلامتی انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Givehchi et al., 2013; Moridnejad et al., 2015; Goudie, 2009).

به منظور مبارزه با این توفان‌ها، پیش از هر چیزی، شناسایی منطقه‌ای منشأهای تولید گردوغبار، در تمرکز بر مناطق بحرانی و مشخص کردن ویژگی‌های منحصر به فرد در پاسخ به شرایط زیست محیطی یاریگر خواهد بود (Esmaili et al., 2006). با این حال، اعمال رویکردهای عملیاتی و اجرایی برای مهار در سطح زمین و حل ریشه‌ای مسئله، شناسایی محلی دقیق کانون‌های تولید گردوغبار را می‌طلبد؛ زیرا ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی گردوغبارها تا حد زیادی توسط منشأهای سطح زمین تعیین می‌شوند (Weng et al., 2015). با این دانش توانایی فهم سازوکار تولید و جابه‌جایی گردوغبار به منظور ارزیابی اثرات اقتصادی-اجتماعی و زیست محیطی پیرو آن و همچنین یافتن راهبرد مؤثر در کنترل و مبارزه با توفان‌های گردوغبار کسب می‌شود (Cao et al., 2015). در سال‌های گذشته، روش‌های پژوهشی زیادی

به منظور شناسایی کانون‌های تولید توفان‌های شن و گردوغبار به کار گرفته شده است که می‌توان به تجزیه داده‌های هواشناسی، تکنولوژی سنجش از دور و GIS، اطلاعات زمین‌شناسی و مدل‌ها اشاره کرد (Taheri Shahraiyini et al., 2015; AI-Jumaily and Ibrahim, 2013; Bolorani et al., 2013; Hamidi et al., 2013; Tsolmon et al., 2008). برای نمونه (Cao et al., 2015) در پژوهشی با استفاده از مدل HYSPLIT و تصاویر سنجنده مادیس، مناطق منشأ توفان‌های شن و گردوغبار را در سطح منطقه‌ای باختر آسیا شناسایی کرده‌اند. با این حال دو نکته قابل تأمل در بیشتر مطالعات پیشین به چشم می‌خورد. نکته اول این است که در بیشتر این مطالعات شناسایی منشأهای توفان‌ها در سطح منطقه‌ای و جهانی صورت گرفته و برای انجام عملیات مهار در سطح زمین راه‌گشا نیستند. نکته دوم این است که توفان‌های گردوغبار و توفان‌های شن، در حالی که دو پدیده با منشأ جدا و اثرات متفاوت هستند؛ در این مطالعات در قالب یک پدیده بررسی شده‌اند. در این راستا، به واسطه افزایش اثرات توفان‌های گردوغبار در ایران به ویژه استان خوزستان (به عنوان یکی از مناطق درگیر با این توفان‌ها)، نیاز مبرمی به شناسایی منشأهای محلی (داخلی) گردوغبار و پیدا کردن راه حل مؤثر در مبارزه با آن وجود دارد. بنابراین، مطالعه حاضر در سطح محلی و با رویکرد شناسایی منشأهای داخلی توفان‌های گردوغبار در استان خوزستان انجام شده است.

۲- محدوده مورد مطالعه

استان خوزستان در جنوب باختر ایران با مساحت ۶۳۳۵۵۷۶ هکتار شامل یک منطقه کوهستانی در بخش خاوری و شمالی، تپه‌ماهورهای حاشیه‌ای و دشت خوزستان است. بررسی‌های زمین‌شناسی نشان می‌دهد که نواحی کوهستانی و تپه‌ماهورهای حاشیه‌ای بیشتر از بیرون‌زدگی‌های سنگی تشکیل شده‌اند و نهشته‌های آبرفتی و

ماهواره‌ای به لحاظ نوع و زمان تصویربرداری به هدف مطالعه بستگی دارد. در این مطالعه برای انتخاب نوع تصویر و زمان تصویربرداری آن از داده‌های فراوانی رخداد و شدت گردوغبار استفاده شد. همان‌گونه که در شکل ۳ آمده است؛ بیشترین میزان شدت و فراوانی رخداد پدیده گردوغبار در ماه‌های خرداد و تیر بوده است. بر همین مبنا تصاویر مربوط به تیر ماه سال ۱۳۹۳ گردآوری شد و پس از انجام تصحیحات اتمسفری، هندسی و رادیومتریک در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

– **استخراج دمای سطح زمین (LST):** استخراج دمای سطح زمین در سه مرحله به شرح زیر اجرا شده است (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Jiang and Tian, 2010):

الف) تبدیل عدد رقومی (DN) به تابش طیفی: تبدیل عدد رقومی به تابش طیفی بر پایه مقادیر مرجع تابش طیفی در سایت USGS بر پایه فرمول زیر صورت گرفت:

$$L\lambda = M_L Q_{Cal} + A_L \quad (1)$$

که در آن، $L\lambda$ رادیانس طیفی $(Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1})$ و Q_{cal} عدد رقومی در محل پیکسل مورد نظر است و مقادیر M_L (RADIANCE_MULT_BAND) و A_L (RADIANCE_ADD_BAND) از هدر فایل تصویر استخراج و در رابطه استفاده شدند.

ب) تبدیل رادیانس طیفی به دمای جسم سیاه: داده‌های باندهای گرمایی ماهواره لندست ۸ با استفاده از رابطه پلانک، از تابش طیفی به دمای جسم سیاه (TB) تبدیل می‌شود که در آن توان تابشی (تشنشعی) یک (بیشینه توان تابشی) فرض می‌شود.

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (2)$$

که در آن، T_B دمای مؤثر در ماهواره بر حسب کلونین (K_0) ، K_1 ، ثابت کالیبراسیون اول، K_2 ثابت کالیبراسیون دوم و $L\lambda$ رادیانس طیفی $(Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1})$ پیکسل مورد نظر است.

ج) تصحیح توان تابشی: تصحیح توان تابشی بر بازیابی صحیح دمای سطحی و همچنین بر کیفیت اطلاعات حاصل از داده‌های فرسوخ گرمایی مؤثر است (علوی‌پناه، ۱۳۸۵). تصحیح توان تابشی برای تبدیل دمای جسم سیاه به دمای سطح زمین (LST) انجام گرفت. یکی از گزینه‌های عملیاتی و کاربردی برای به دست آوردن توان تابشی، روش آستانه NDVI است، که بر پایه توان تابشی سطحی به سه رده بر پایه مقادیر NDVI تقسیم شده است:

$NDVI < 0.2$: نشان‌دهنده خاک لخت است و توان تابشی خاک لخت لحاظ می‌شود ($\epsilon_{soil} = 0.97$).

$0.5 < NDVI$: نشان‌دهنده پهنه‌های با پوشش گیاهی فراوان است و توان تابشی پوشش گیاهی برای آن ($\epsilon_{veg} = 0.99$) فرض می‌شود.

$0.2 \leq NDVI \leq 0.5$: در این مورد پیکسل‌ها مخلوطی از خاک و پوشش گیاهی است و توان تابشی (ϵ_{mix}) بر این اساس به دست می‌آید.

$$\epsilon = \epsilon_{veg} P_v + \epsilon_{soil} (1 - P_v) \quad (3)$$

همان نسبت پوشش گیاهی است و از معادله زیر به دست می‌آید:

$$P_v = \frac{NDVI - NDVI_{Min}}{NDVI_{Max} - NDVI_{Min}} \quad (4)$$

که در آن $NDVI_{Min} = 0.2$: $NDVI_{Max} = 0.5$ است. چگونگی به دست آوردن NDVI در بخش بعد آورده شده است. پس از به دست آوردن مقادیر توان تابشی، دمای سطح زمین (LST) از فرمول زیر به دست آمد:

$$LST = \left[\frac{T_B}{1 + (\lambda * T_B / \rho) \ln \epsilon} \right] - 273.15 \quad (5)$$

که در آن λ طول موج رادیانس ساطع شده $(11.5\mu m)$ ، $\rho = 0.115$ ، $2 = \rho * 10^{-2} = 0.115 * 10^{-2}$ و ϵ توان تابشی است.

– **استخراج شاخص پوشش گیاهی (NDVI, SAVI):** شاخص‌های پوشش گیاهی مختلفی برای آشکارسازی اطلاعات پوشش گیاهی در تصاویر سنجنش از دور وجود دارد که معمولاً باند فرسوخ (بازتاب بالای پوشش گیاهی) و سرخ (جذب بالای رنگدانه) را به کار می‌گیرند (Xu, 2007). شاخص NDVI معروف‌ترین شاخص

جوان نیز در این مناطق دانه‌درشت هستند. نواحی یاد شده از نگاه اقلیمی نیز در ناحیه نیمه‌خشک تا مرطوب قرار دارند. به‌گونه‌ای که ویژگی‌های زمین‌شناسی از یک سو و شرایط اقلیمی از سوی دیگر سبب شده تا این مناطق تقریباً پتانسیل تولید گردوغبار نداشته باشند. بنابراین به منظور جلوگیری از افزونگی داده و کاهش حجم محاسبات، مناطق کم شیب و مستعد دشت خوزستان به عنوان محدوده مورد مطالعه در نظر گرفته شده است (شکل ۱).

۳- مواد و روش پژوهش

در مطالعه حاضر از روش ترکیبی سنجنش از دور، GIS و رسوب‌شناسی به منظور شناسایی کانون‌های محلی تولید گردوغبار استفاده شده است. در این روش سنجنش از دور به عنوان محور اصلی مطالعه رفتار کرده و روش‌های رسوب‌شناسی و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی مکمل آن هستند. زیرا داده‌های ماهواره‌ای به علت به روز بودن، پوشش گسترده، تکرارپذیری و کاهش زمان و هزینه مطالعات، روش بسیار مناسبی برای پایش و ارزیابی مسائل زیست محیطی هستند. در این میان داده‌های ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی متوسط برای شناسایی کانون‌های تولید گردوغبار بسیار مفید هستند و قدرت تفکیک طیفی بالای آنها امکان استخراج اطلاعات گوناگونی مانند پوشش زمین، دمای سطح زمین، رطوبت خاک و ... را می‌دهد. در این مطالعه، تصاویر ماهواره Landsat 8 با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر به دلیل رایگان بودن و داشتن باندهای بازتابی و گرمایی، به عنوان مناسب‌ترین داده پایه سنجنش از دوری به کار گرفته شده است. همان‌گونه که در شکل ۲ آمده است، لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده به دو گروه لایه‌های محدود کننده و لایه‌های اصلی تقسیم شده‌اند. لایه‌های محدود کننده شامل کاربری زمین، خاک‌شناسی، اقلیم، شیب و رسوب‌شناسی است. به جز لایه رسوب‌شناسی که در خلال این مطالعات تهیه شده، برای دیگر لایه‌ها از نقشه‌های تهیه شده توسط سازمان‌های مربوطه استفاده گردیده است. لایه‌های اصلی شامل لایه شاخص SAVI (Soil-adjusted Vegetation Index)، دمای سطح زمین و محتوای رطوبتی خاک است که از تصاویر ماهواره لندست ۸ استخراج شده‌اند.

۳-۱. آماده‌سازی و تهیه لایه‌های محدود کننده

لایه کاربری زمین مورد استفاده در این مطالعه از نقشه کاربری زمین تهیه شده توسط اداره کل منابع طبیعی گرفته شده که پس از پردازش‌های اولیه و رفع خطاهای توپولوژیکی استفاده شده است. لایه خاک‌شناسی از نقشه قابلیت خاک استان استخراج شده است. لایه شیب استان خوزستان از لایه مدل رقومی ارتفاع (DEM) ۲۵ متر تهیه و استفاده شده است. لایه اقلیم از نقشه ملی اقلیم (بر پایه رده‌بندی دومارتن) گرفته شده است.

با توجه به اینکه بیشتر محدوده مورد مطالعه از نهشته‌های آبرفتی و جوان کواترنری تشکیل شده؛ لایه رسوب‌شناسی به عنوان یک لایه اطلاعاتی مورد استفاده قرار گرفته است. نقشه یاد شده در خلال انجام مطالعات با اتکا به تصاویر ماهواره‌ای، مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری (۹۰۰ نقطه در قالب ۹۰ روز بازدید میدانی) تهیه شده است. در این مطالعه نهشته‌های رسوبی بر پایه نوع محیط رسوبی و دانه‌بندی تقسیم‌بندی شده‌اند. بر پایه محیط رسوبی این نهشته‌ها به نهشته‌های بادی، مخروط‌افکنه‌ای، رودخانه‌ای (شامل نهشته‌های بستر رودخانه، بارنقطه‌ای، پادگانه آبرفتی و دشت سیلابی)، دشت آبرفتی، دلتایی و سبخاها تفکیک شده‌اند. از نظر دانه‌بندی نیز این نهشته‌ها شامل نهشته‌های گراول ماسه‌ای، گراول ماسه‌ای و گلی، ماسه گلی، رس ماسه‌ای و رس هستند.

۳-۲. تهیه و استخراج لایه‌های اصلی از تصاویر لندست ۸

نقش تعیین کننده تغییرات پوشش گیاهی، دمای سطح زمین و رطوبت خاک در شکل‌گیری و گسترش کانون‌های تولید گردوغبار در دهه اخیر از یک سو و به روز بودن و دقت بالای لایه‌های یاد شده از سوی دیگر، سبب شده تا در مقایسه با لایه‌های دیگر به عنوان فاکتورها (لایه‌های اصلی) در نظر گرفته شوند. به کارگیری تصاویر

داشته باشند (پرهیزکار و غفاری گیلانده، ۱۳۸۵). در این مطالعه لایه‌های محدود کننده به روش بولین و لایه‌های اصلی به روش فازی استانداردسازی شده‌اند. عملیات فازی سازی، ورودی‌ها را گرفته و توسط توابع عضویت مربوطه از جمله Linear، Sigmoidal، J shape، به هر کدام یک درجه مناسب نسبت می‌دهد (حیدریان و همکاران، ۱۳۹۳).

۵- وزن دهی به لایه‌ها

پس از آن که معیارهای ارزیابی به مقیاس‌های قابل قیاس و استاندارد تبدیل شدند باید وزن و اهمیت نسبی هر یک از آنها را در رابطه با هدف مورد نظر تعیین کرد. در این مطالعه از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) برای تعیین وزن نسبی هر معیار استفاده شده، که مراحل انجام آن بدین صورت است (عطایی، ۱۳۸۹؛ Jakiel and Fabianowski, 2015):

(۱) رسم نمودار سلسله مراتبی

(۲) تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسه‌های زوجی

(۳) تشکیل ماتریس مقایسه زوجی با به کارگیری اعداد فازی: برای انجام مقایسه‌ها نیاز به تعریف اعداد فازی و مقیاس‌های فازی است که در جدول ۱ آورده شده است. ماتریس مقایسه زوجی (A) دارای اعداد فازی تعریف شده است و به صورت زیر خواهد بود:

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

اگر کمیته تصمیم گیرندگان دارای چندین تصمیم گیرنده باشد، درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی جامع که در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به کار می‌رود، یک عدد فازی مثلثی است که مؤلفه اول آن کمینه نظرسنجی‌ها، مؤلفه دوم آن میانگین نظرسنجی‌ها و مؤلفه سوم آن بیشینه نظرسنجی‌هاست (عطایی، ۱۳۸۹؛ Jakiel and Fabianowski, 2015).

(۴) محاسبه Si برای هر یک از سطرها ماتریس مقایسه زوجی: Si یک عدد فازی مثلثی است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (10)$$

که در این رابطه i بیانگر شماره سطر و j بیانگر شماره ستون است. $M_{g_i}^j$: در این رابطه اعداد فازی مثلثی ماتریس‌های مقایسه زوجی هستند.

$$\sum_{j=1}^m m_{g_i}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right)$$

در روابط بالا li و mi و ui به ترتیب مؤلفه‌های اول تا سوم اعداد فازی هستند.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \times \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) = \left(\frac{\sum_{j=1}^m l_j}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{\sum_{j=1}^m m_j}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{\sum_{j=1}^m u_j}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (12)$$

(۵) محاسبه درجه بزرگی Siها نسبت به همدیگر: به طور کلی درجه بزرگی Si نسبت به Sj از معادله زیر به دست می‌آید:

$$v(s_i \geq s_j) = \text{hgt}(s_i \cap s_j) = \mu_{s_i}(d) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_i \geq m_j \\ 0 & \text{if } l_i \geq u_j \\ \frac{l_j - u_i}{(m_i - u_i) - (m_j - u_j)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

(۶) محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس‌های مقایسه زوجی: برای محاسبه وزن بهنجار نشده معیار باید میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی با دیگر اعداد فازی مثلثی به دست آید و در پایان کمترین میزان بزرگی، نشان‌دهنده وزن بهنجار نشده

در این زمینه است. اما در این مطالعه به دلیل امتیاز شاخص SAVI نسبت به شاخص NDVI در مناطق با پوشش کم و کاهش تأثیر خاک زمینه (علوی‌پناه، ۱۳۸۲)، از شاخص SAVI برای آشکارسازی عوارض پوشش گیاهی استفاده شد. شاخص SAVI توانایی تفکیک و شناسایی در مناطق با پوشش گیاهی کمتر از ۱۵ درصد را دارد؛ در حالی که شاخص NDVI در مناطق با پوشش گیاهی بالاتر از ۳۰ درصد سودمند است (Xu, 2007). هر کدام از شاخص‌های یاد شده از فرمول‌های زیر به دست می‌آیند:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad (6)$$

$$SAVI = \frac{(NIR - R)(1 + L)}{NIR + R + L} \quad (7)$$

که در آن L فاکتور تصحیح است که دامنه آن از صفر برای تراکم خیلی بالا تا یک برای تراکم خیلی پایین تغییر می‌کند و R و NIR به ترتیب باندهای سرخ و فرورسرخ تصویر ماهواره‌ای هستند. گفتنی است که در این مطالعه به دلیل دامنه متغیر میزان تراکم پوشش، مقدار فاکتور تصحیح ۰/۵ در نظر گرفته شد.

– استخراج رطوبت خاک (SMC): رطوبت خاک یک متغیر کلیدی در مبادله توده و انرژی در جو و سطح زمین است. ایده اولیه استفاده از تصاویر سنجنش از دور برای برآورد رطوبت خاک، این است که رطوبت خاک ویژگی‌های سطحی را که از راه سنجنش از دور دیده می‌شود، تحت تأثیر قرار می‌دهد. این اثرات عامل‌های بیوفیزیکی مانند پوشش گیاهی (مشاهده از راه شاخص‌های پوشش گیاهی) و بیلان انرژی سطحی (مشاهده از راه دمای سطحی) را شامل می‌شود. دمای سطح شاخص خوبی از بیلان انرژی در مقیاس منطقه‌ای و جهانی است و به عنوان یکی از فاکتورهای حساس به میزان رطوبت خاک شناخته شده است (Shafian and Maas, 2015). در حالت کلی، با کاهش رطوبت، پوشش گیاهی کاهش و دمای سطح افزایش پیدا می‌کند. بنابراین ترکیب دمای سطح و شاخص پوشش گیاهی می‌تواند اطلاعات مفیدی برای بازیابی کمی توزیع مکانی و زمانی رطوبت خاک فراهم آورد. نمودار حاصل از برهمکنش پوشش گیاهی و دمای سطح در فضای دوبعدی، فضای ویژگی پوشش گیاهی - دمای سطح را ایجاد می‌کند که در شکل ۴ آمده است.

با توجه به توضیحات داده شده میزان رطوبت خاک با استفاده از مقادیر پوشش گیاهی و دمای سطح از راه فرمول‌های زیر و اجرای آنها روی تصاویر به دست آمد:

$$D_i = (LST_{i,norm} + GC_i) / \sqrt{2} \quad (8)$$

که در آن $LST_{i,norm}$ دمای سطح بهنجار شده و GC_i پوشش زمین برای یک نقطه در فضای ویژگی پوشش گیاهی - دمای سطح است. فرمول بالا و مقدار حاصل از آن بیان‌کننده این است که با افزایش Di، میزان رطوبت خاک کاهش پیدا می‌کند (شکل ۴). فرمول یاد شده به تنهایی نمی‌تواند تشریح‌کننده فضای این ویژگی باشد. به این صورت که با افزایش فاصله از نقطه e روی خط افزایش Di، باید رطوبت کاهش یابد. اما در عمل این گونه نیست و در نقطه h که پوشش گیاهی بیشتر می‌شود (کاهش دمای سطح) رطوبت افزایش پیدا می‌کند و در نقطه g که دمای سطح افزایش پیدا می‌کند (خاک لخت)، رطوبت کاهش می‌یابد. به منظور رفع این مشکل از فرمول زیر استفاده شد (Shafian and Maas, 2015):

$$PSMI = D_i / (1 + GC_i) \quad (9)$$

که در آن PSMI (Perpendicular Soil Moisture Index) شاخص رطوبت خاک عمودی است.

۴- استانداردسازی لایه‌ها

با توجه به اینکه در اندازه‌گیری صفات، دامنه گوناگونی از مقیاس‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ لازم است ارزش‌های موجود در لایه‌های مختلف نقشه معیار، به واحدهای قابل مقایسه و متناسب با هم تبدیل شوند. به بیان دقیق‌تر برای ترکیب لایه‌های مختلف نقشه‌های معیار با هم، باید مقیاس‌ها در تناسب با همدیگر قرار

معیار است. بدین منظور از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$d'(A_i) = \text{Min}V (s_i \geq s_k) \quad k = 1, 2, \dots, n \quad k \neq i \quad (14)$$

(۷) محاسبه بردار وزن پایانی: بردار وزن پایانی از بهنجار کردن بردار وزن معیارها به دست می‌آید.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^t \quad (15)$$

در مطالعه اخیر از روش Fuzzy Hierarchy Integral Analytic استفاده شد که تفاوت آن با روش بالا در به دست آوردن Si است.

$$S_i = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{1}{2} S_{iu} \right) + (S_{im}) + \left(\frac{1}{2} S_{il} \right) \right] \quad (16)$$

وزن بهنجار هم از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$W = \frac{S_i}{\sum S_i} \quad (17)$$

به منظور وزن‌دهی به لایه‌ها، مدل یاد شده در نرم‌افزار Matlab پیاده‌سازی شده و از این راه وزن فازی هر لایه با توجه به ماتریس مقایسه زوجی (حاصل نظر کارشناسی) و اهمیت آنها به دست آمده است.

۶- همپوشانی لایه‌های پایانی

همپوشانی یکی از توابع مکانی است که می‌تواند لایه‌های داده‌های مکانی که از منابع مجزا به دست آمده‌اند را به منظور کاربردهای مکان‌یابی با استفاده از مدل‌های ترکیبی با یکدیگر تلفیق کند. لایه جدید (خروجی) به صورت تابعی از دو یا چند لایه ورودی است. این عملیات در داده‌های برداری و دارای ساختار توپولوژیک عموماً دارای خروجی با اجزا جدید مکانی است. مدل‌های ترکیبی بر پایه روش‌های اجرایی به چندین گروه تقسیم می‌شود. برای نمونه می‌توان عملگرهای بولین، عملگرهای حسابی، منطق فازی، روش‌های احتمالاتی، همپوشانی شاخص، الگوریتم ژنتیک و... را نام برد که موارد یاد شده به‌ویژه در داده‌های شبکه‌ای قابل استفاده هستند (حیدریان و همکاران، ۱۳۹۳). در این مطالعه به منظور روی هم‌گذاری لایه‌های محدودیت و لایه‌های اصلی از توابع همپوشانی فازی مانند Gamma, Or, And, Product و SUM استفاده شد. به این صورت که هر کدام از لایه‌ها در وزن متناظر آن ضرب شد و لایه‌های وزن‌دار پایانی تلفیق شدند.

۷- نتایج و بحث

همان‌گونه که گفته شد تنها لایه محدود کننده‌ای که در خلال مطالعه تهیه شد، لایه رسوبات منطقه بود. دلیل اهمیت استخراج این لایه این است که در بحث شناسایی کانون‌های تولید گردوغبار، بیشتر از ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر اولیه خاک اهمیت دارد. دست‌یابی به اطلاعات این ژرفا از خاک جز با تهیه لایه رسوبات منطقه امکان‌پذیر نیست. بنابراین با استفاده از نقاط نمونه‌برداری و مطالعات دورسنجی، نقشه رسوبات منطقه بر پایه نوع محیط رسوبی و دانه‌بندی، در ۲۴ نوع برای دشت خوزستان تهیه شد (شکل ۵). در پایان به کمک بازدیدهای میدانی مشخص شد که از میان نهشته‌های رسوبی منطقه، دشت‌های آبرفتی رسی، رسی ماسه‌ای، سیخاهای قاره‌ای و سیخاهای بادی بیشترین پتانسیل تولید گردوغبار را دارند. افزون بر لایه رسوبات منطقه مهم‌ترین عوامل سطحی که در شناسایی منشاهای تولید گردوغبار بسیار مؤثر هستند، پوشش گیاهی، دمای سطح زمین و محتوای رطوبتی خاک هستند. استخراج پوشش گیاهی دشت خوزستان به‌ویژه مراتع شورپسند و کم تراکم از تصاویر ماهواره‌ای، به دلیل رنگ تیره و همچنین رسوب گردوغبار روی آنها، به دقت بالایی نیاز دارد. همانطور که بیان شد، برای این منظور از شاخص SAVI استفاده شد؛ زیرا این شاخص توانایی رفع مسئله یاد شده را دارد. در شکل ۵ نقشه حاصل از شاخص SAVI آمده است که مقدار آن برای منطقه مورد مطالعه از ۰/۳۴ تا ۰/۴۴ متغیر است.

در حالت کلی، مقادیر مثبت و منفی شاخص به ترتیب بیان‌کننده بود و نبود پوشش

گیاهی است. دمای سطح منطقه با به کارگیری باندهای سرخ، فرورسرخ نزدیک و گرمایی ماهواره لندست ۸ محاسبه و استخراج شد. نتایج حاصل نشان‌دهنده این است که سواحل خلیج فارس با ۲۷ درجه سانتی‌گراد و تپه‌های ماسه‌ای شمال باختر و خاور اهواز با ۵۹ درجه سانتی‌گراد به ترتیب کمترین و بیشترین دمای سطحی را دارند (شکل ۶). عامل سطحی دیگری که تأثیر بسیار زیادی در ایجاد منشاهای تولید گردوغبار دارد، محتوای رطوبتی خاک است، زیرا رطوبت خاک جدای از تأثیر مستقیمی که در یکپارچه‌سازی ذرات خاک و جلوگیری از انفصال آنها دارد، با اعمال نقشی تعیین‌کننده در میزان دمای سطح و پوشش گیاهی منطقه به‌طور غیر مستقیم در ایجاد منشاهای تولید گردوغبار مؤثر است. برای استخراج این لایه از دمای سطح زمین و پوشش گیاهی منطقه استفاده شد، که نقشه حاصل از آن در شکل ۶ آمده است و مقادیر آن از ۲۹ تا ۸۶ درصد متغیر است. همانطور که دیده می‌شود، تپه‌های ماسه‌ای کمترین رطوبت و سواحل خلیج فارس (سیخاهای ساحلی و مناطق مرطوب)، مناطق کشاورزی و محدوده پیرامون تالاب‌ها بیشترین میزان رطوبت را دارند.

پس از گردآوری و تهیه لایه‌های اصلی و لایه‌های محدودکننده، به منظور روی هم‌گذاری، لازم است که این لایه‌ها استانداردسازی شوند. برای استانداردسازی لایه‌های محدودکننده، از روش بولین استفاده شد و به مناطق با شیب کمتر از ۵ درصد، کاربری‌های مرتعی فقیر و زمین‌های بدون پوشش، نوع خاک و رسوبات ریز و رسی و همچنین اقلیم‌های خشک و فراخشک امتیاز یک و به بقیه مناطق امتیاز صفر اختصاص داده شد. در واقع مناطق بدون پتانسیل تولید گردوغبار از محدوده مورد مطالعه حذف شدند. اما برای استانداردسازی لایه‌های اصلی، توابع عضویت فازی افزایشی-کاهشی به کار گرفته شد. برای تعیین بازه مناسب مقادیر سه لایه اصلی و اعمال آن در توابع عضویت، بازدیدهای میدانی اولیه در نقاط نمونه‌ای منشأ تولید گردوغبار صورت گرفت و مشخص شد که مناطق منشأ لزوماً در برگرفته مقادیر بیشینه دما، کمیته رطوبت یا کمیته مقادیر شاخص پوشش گیاهی نیستند؛ بلکه بازه‌ای میانی از مقادیر این لایه‌ها را پوشش می‌دهند. برای لایه‌های اصلی استاندارد شده، پیش از روی هم‌گذاری، به واسطه اهمیت و میزان تأثیرگذاری متفاوت در شناسایی کانون‌های گردوغبار، لازم است که وزن‌دهی صورت گیرد. برای این کار وزن هر لایه، از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی که حاصل نظرات کارشناسی و محاسبات روش FAHP در نرم‌افزار متلب است، به دست آمد. وزن‌های به دست آمده گویای این است که در میان سه عامل اصلی، پوشش گیاهی و رطوبت خاک به ترتیب بیشترین و کمترین وزن و اهمیت را در شناسایی منشأها دارند (جدول ۲).

در پایان خروجی حاصل از همپوشانی لایه‌های محدودکننده با نقشه‌های حاصل‌ضرب لایه‌های اصلی استاندارد شده در وزن متناظرشان تلفیق و مناطق تولید گردوغبار شناسایی شد (شکل ۷). به منظور درستی‌سنجی نتایج به دست آمده، در ۱۸۰ نقطه از مناطق منشأ بازدید صحرایی صورت گرفت که گویای دقت بسیار بالای مناطق شناسایی شده برای استان خوزستان است.

۷-۱. کانون‌های داخلی اصلی در تولید گردوغبار در استان خوزستان

کانون‌های داخلی که منشأ توفان‌های گردوغبار در خوزستان هستند؛ با مساحتی حدود ۳۴۹۲۵۴ هکتار، به‌طور چیره از خاور و جنوب خاور اهواز تا خاور هندیجان در جنوب خاور استان گسترش دارند. افزون بر این در باختر استان نیز بخش‌های خشک شده تالاب هورالعظیم در باختر هویزه و نواحی پیرامون آن و همچنین بخش‌هایی از شمال و خاور خرمشهر نیز جزو مناطق منشأ هستند. در بیشتر این پهنه‌ها کاهش رطوبت سطحی و شور شدن زمین در نتیجه نفوذ آب‌های زیرزمینی به خوبی دیده می‌شود. نفوذ آب‌های زیرزمینی در نتیجه خاصیت موینگی و تبخیر آن در سطح، سبب تبلور نمک در فضای خالی میان ذرات خاک و متلاشی شدن بافت خاک شده است به گونه‌ای که در بسیاری از نقاط بخش سطحی خاک به ژرفای ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر حالت پفی یافته و به شدت مستعد فرسایش بادی شده است. با توجه به اینکه درصد کمی ماسه نیز همراه نهشته‌های دانه‌ریز و رسی این پهنه‌ها وجود دارد؛

بدون پوشش گیاهی است که وجود فسیل‌های جانداران در بخش‌های فرسایش یافته نشان‌دهنده تالابی بودن آن در گذشته است. این محدوده نیز همانند دیگر آبگیرهای خشک شده دارای آثار فرسایش شدید با تشکیل و گسترش تپه‌های کوچک ماسه بادی است. مساحت این مناطق در مجموع حدود ۳۳۴۵۴/۸۲ هکتار است.

– **محدوده خاور هنديجان:** این محدوده شامل پهنه‌های رسی است که در خاور رودخانه زهره و به موازات تاقدیس رگ سفید شکل گرفته‌اند. این پهنه‌ها بیشتر توسط آبراهه‌های فصلی تغذیه می‌شوند که از ارتفاعات رگ سفید سرچشمه می‌گیرند. خشکسالی‌های پی‌درپی در سال‌های گذشته و کاهش رطوبت سطحی سبب تبدیل این عرصه‌ها به کانون‌های گردوغبار شده است (شکل ۱۲). بخشی از دشت ساحلی خلیج فارس در محدوده خارج از سیخاهای ساحلی نیز در این ناحیه به شکل کانون‌هایی برای تولید گردوغبار در آمده‌اند. مساحت این مناطق در مجموع حدود ۱۸۱۹۵/۰۵ هکتار است.

۸- نتیجه‌گیری

بررسی آمارهای بلندمدت نشان می‌دهد که فراوانی رخداد توفان‌های غبار همواره با نوسان همراه بوده و روند افزایشی ثابتی ندارد. از این رو تشدید بحران گردوغبارها در دهه اخیر، بیشتر حاصل افزایش در غلظت، مدت زمان ماندگاری و فاصله انتقال این توفان‌هاست. نتایج این مطالعه نشان از این دارد که ۹ درصد از مساحت دشت خوزستان، معادل ۳۴۹۲۵۴ هکتار منشأهای تولید گردوغبار هستند. کانون‌های شناسایی شده بر پایه نوع کاربری و مساحت، به ترتیب شامل مراتع تخریب شده، زمین‌های کشاورزی دیم رها شده، زمین‌های بدون پوشش، تالاب‌ها و آبگیرهای خشک شده و زمین‌های کشاورزی آبی هستند. اگر چه سهم کانون‌های داخلی در تولید غبار کمتر از کانون‌های خارجی است؛ اما با توجه به تخریب شدید سرزمین و به‌ویژه زمین‌های کشاورزی از یک سو و گسترش بیابان و ماسه‌های روان از سوی دیگر، باید برنامه مهار کانون‌های داخلی به‌طور ویژه دنبال شود. همچنین نتایج بازدیدهای میدانی بیان‌کننده هشدار بسیار مهمی برای مسئولان امر برنامه‌ریزی محیط زیست، منابع طبیعی و مدیریت بحران در مبارزه و جلوگیری از گسترش این پدیده (معضل ملی دهه اخیر) است.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر نتایج مطالعات مصوب سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی اهواز است که در سطح استانی و ملی تصویب شده و پایه عملیات مهار در استان خوزستان قرار گرفته است. بدین وسیله از همه اعضای ستاد مقابله با ریزگرد استان خوزستان اعم از اداره کل مدیریت بحران، اداره کل هواشناسی، اداره کل محیط زیست، اداره کل منابع طبیعی، دانشگاه شهید چمران و همه همکاران در سازمان زمین‌شناسی سپاسگزاری می‌شود.

پس از حمل بخش‌های دانه‌ریز توسط باد، تجمع بخش‌های ماسه‌ای و دانه‌درشت‌تر سبب شکل‌گیری تپه‌های ماسه بادی کوچکی شده است که با روند گسترش فعلی، در پایان به شکل پهنه‌های ماسه بادی و برخان‌ها ظاهر می‌شوند. این عرصه‌ها در بیشتر نقاط عاری از هر گونه پوشش گیاهی هستند و ژرفای برداشت به ۴ تا ۵ سانتی‌متر نیز می‌رسد. در برخی نقاط اثر فرسایش باد به‌صورت خط‌خس‌هایی در راستای شمال‌باختر- جنوب‌خاور در سطح زمین دیده می‌شود. وجود فسیل جاندارانی مانند شکم‌پایان و دوکفه‌ای‌ها در برخی نقاط نشان می‌دهد که بخش‌هایی از این مناطق در گذشته محیط‌های آبی را تشکیل می‌داده‌اند. کانون‌های شناسایی شده در قالب ۷ محدوده به شرح زیر معرفی شده‌اند:

– **ناحیه جنوب باختر هویزه:** این محدوده بخش‌های خشک شده تالاب هورالعظیم و نواحی پیرامون آن را شامل می‌شود که در مجموع حدود ۵۳۱۰۳/۱ هکتار مساحت دارد.

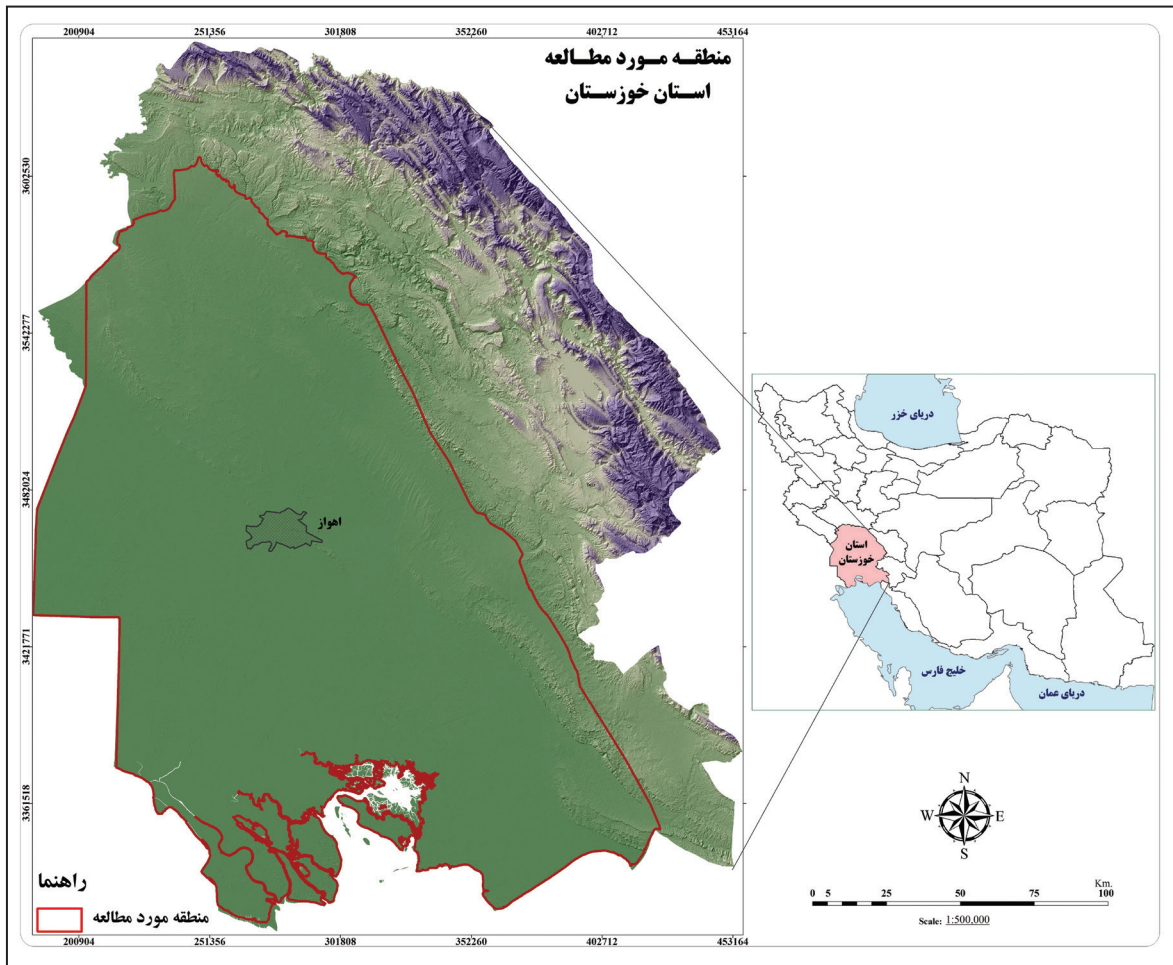
– **ناحیه شمال خرمشهر:** این مناطق دشت‌های آبرفتی مسطح و دانه‌ریز هستند که پوشش گیاهی ندارند و شوری زمین در آنها بالاست. مساحت این مناطق در مجموع حدود ۲۸۰۳۰/۶۳ هکتار است.

– **ناحیه خاور اهواز:** این ناحیه دربرگیرنده پلایای خشک شده مالچ و آبگیرهای انتهای رودخانه کوپال است که در طی خشکسالی‌های اخیر به کانون تولید گردوغبار تبدیل شده‌اند. خشک شدن بوته‌زارهای حاشیه خاوری این آبگیر نقش مهمی در شکل‌گیری کانون تولید گردوغبار دارد (شکل ۸). مساحت این مناطق در مجموع حدود ۱۵۶۶۰/۵ هکتار است.

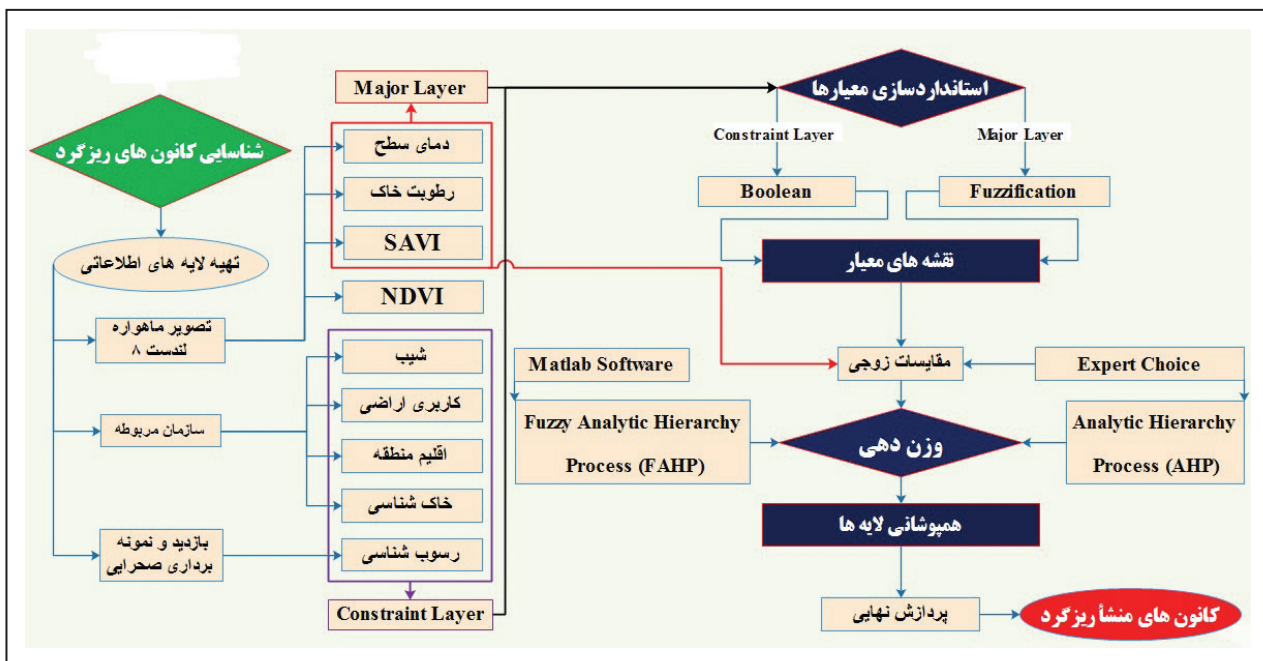
– **ناحیه جنوب و جنوب خاور اهواز:** این محدوده، بخش‌هایی از باختر نهر مالچ را در جنوب اهواز تا نواحی باختر جراحی و رامشیر دربر می‌گیرد. این پهنه گسترش قابل توجهی دارد و شامل مجموعه‌ای از آبگیرهای خشک شده است که در باختر مالچ، انتهای رودخانه کوپال و انتهای برخی آبراهه‌های فصلی در پهلوی جنوبی تاقدیس مارون قرار دارند. این پهنه‌ها نیز به‌صورت کفه‌های رسی گسترده هستند که با وجود فسیل جاندارانی مانند شکم‌پایان و دوکفه‌ای‌ها و نبود هر گونه پوشش گیاهی مشخص می‌شود (شکل‌های ۹ و ۱۰). بخش‌های گسترده‌ای از این محدوده را نیز به‌ویژه در باختر رودخانه جراحی، زمین‌های کشاورزی دیم تشکیل می‌دهد که به دلیل خشکسالی‌های اخیر رها و به‌صورت کانون‌هایی برای تولید گردوغبار تبدیل شده‌اند (شکل ۱۱). مساحت این مناطق در مجموع حدود ۱۱۲۶۳۶/۷ هکتار است.

– **محدوده بندر امام- امیدیه:** این محدوده در برگیرنده کفه‌های رسی بسیار گسترده است که به‌طور چیره تحت تأثیر سیلاب‌های رودخانه جراحی قرار داشته است. فسیل‌های شکم‌پا و دوکفه‌ای و نبود پوشش گیاهی در بخش‌های زیادی از این پهنه دیده می‌شود. در برخی مناطق نیز بوته‌زارهای حاشیه این آبگیرها در حال خشک شدن و تخریب هستند. مساحت این مناطق در مجموع حدود ۸۸۱۷۳/۲ هکتار است.

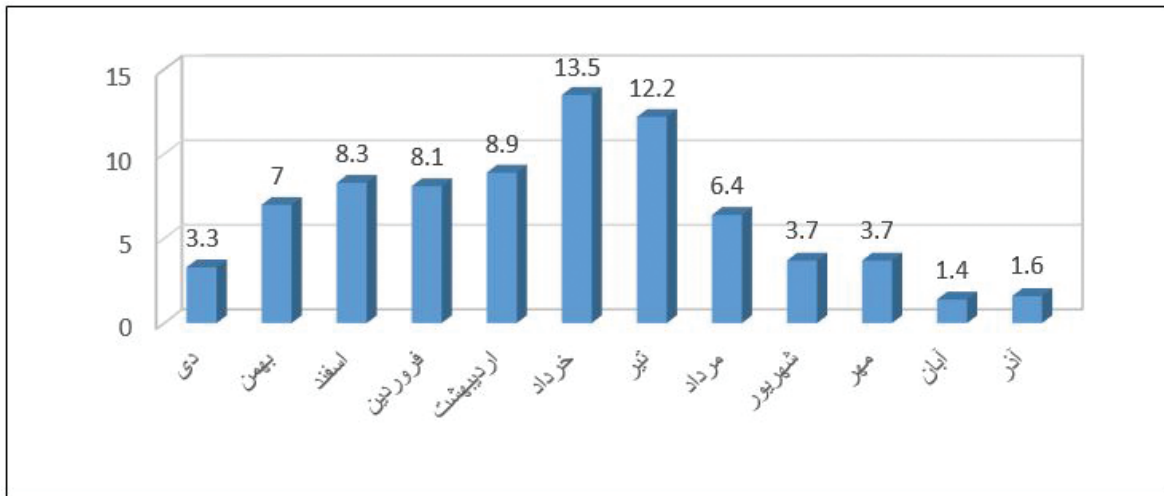
– **محدوده ماهشهر- هنديجان:** این محدوده نیز در برگیرنده پهنه‌های رسی گسترده و



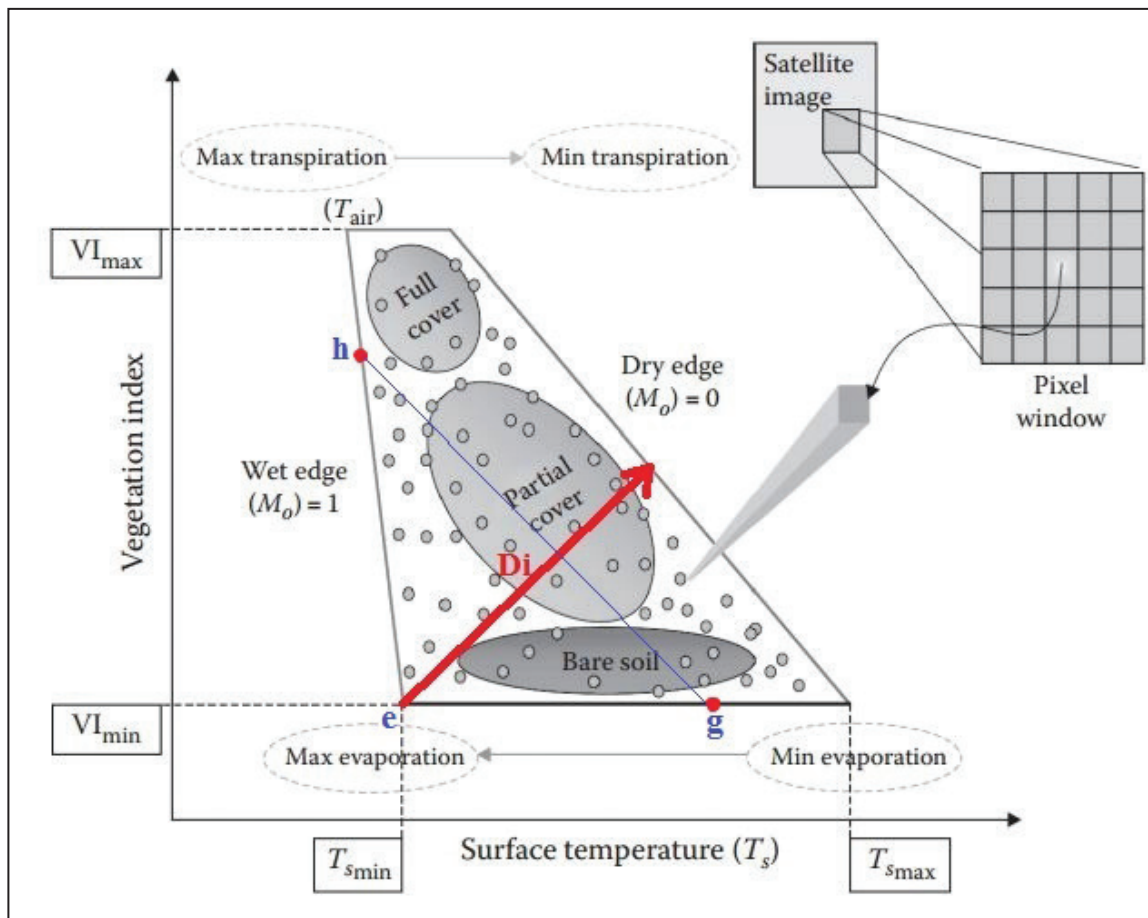
شکل ۱- محدوده مورد مطالعه.



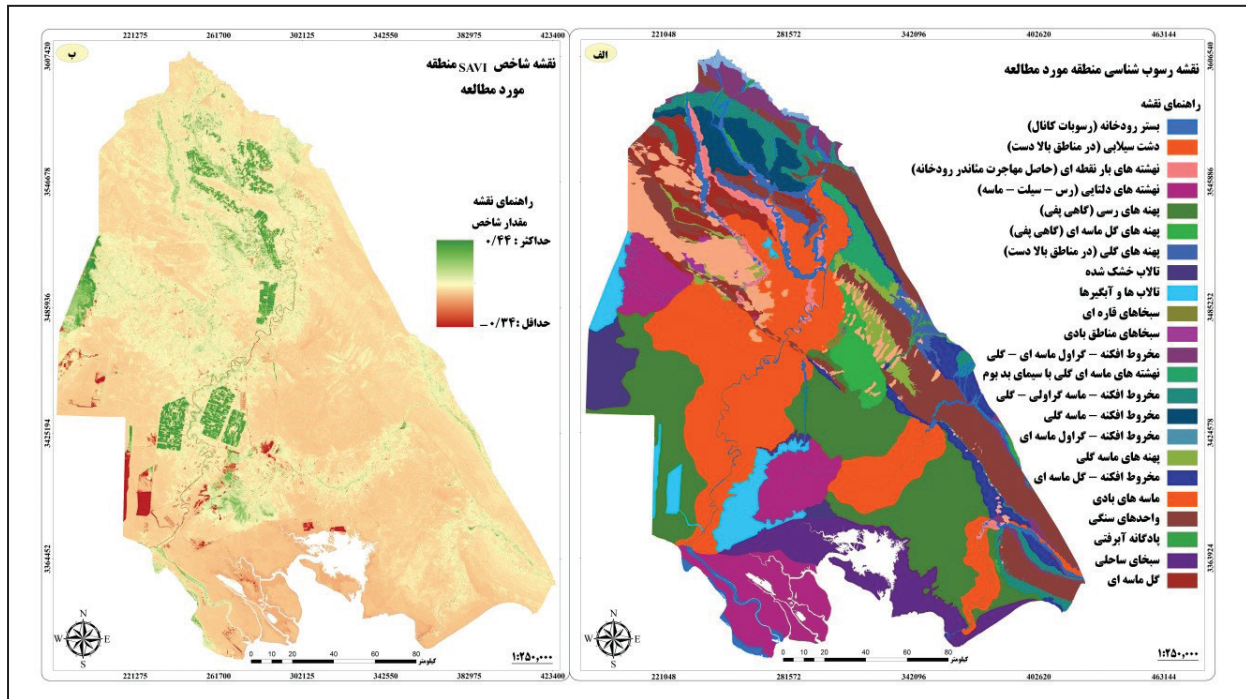
شکل ۲- مراحل اجرای پژوهش.



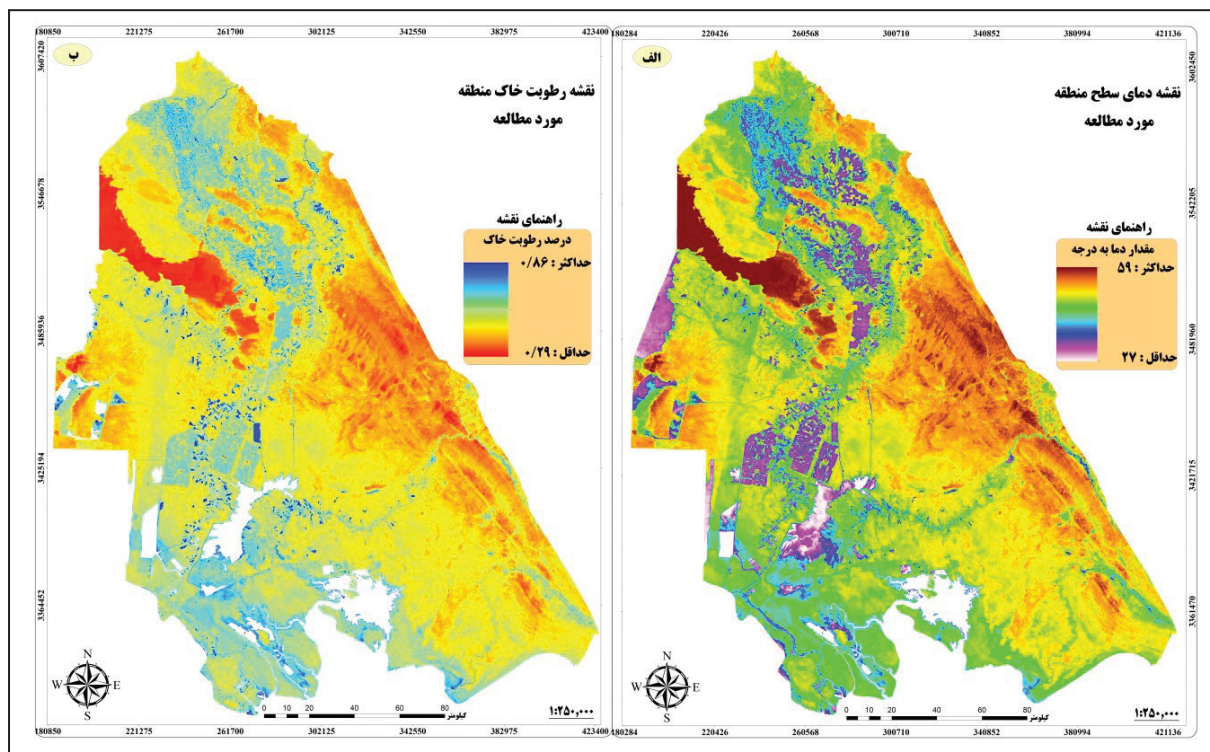
شکل ۳- فراوانی رخداد و شدت گردوغبار در ماه‌های سال در استان خوزستان.



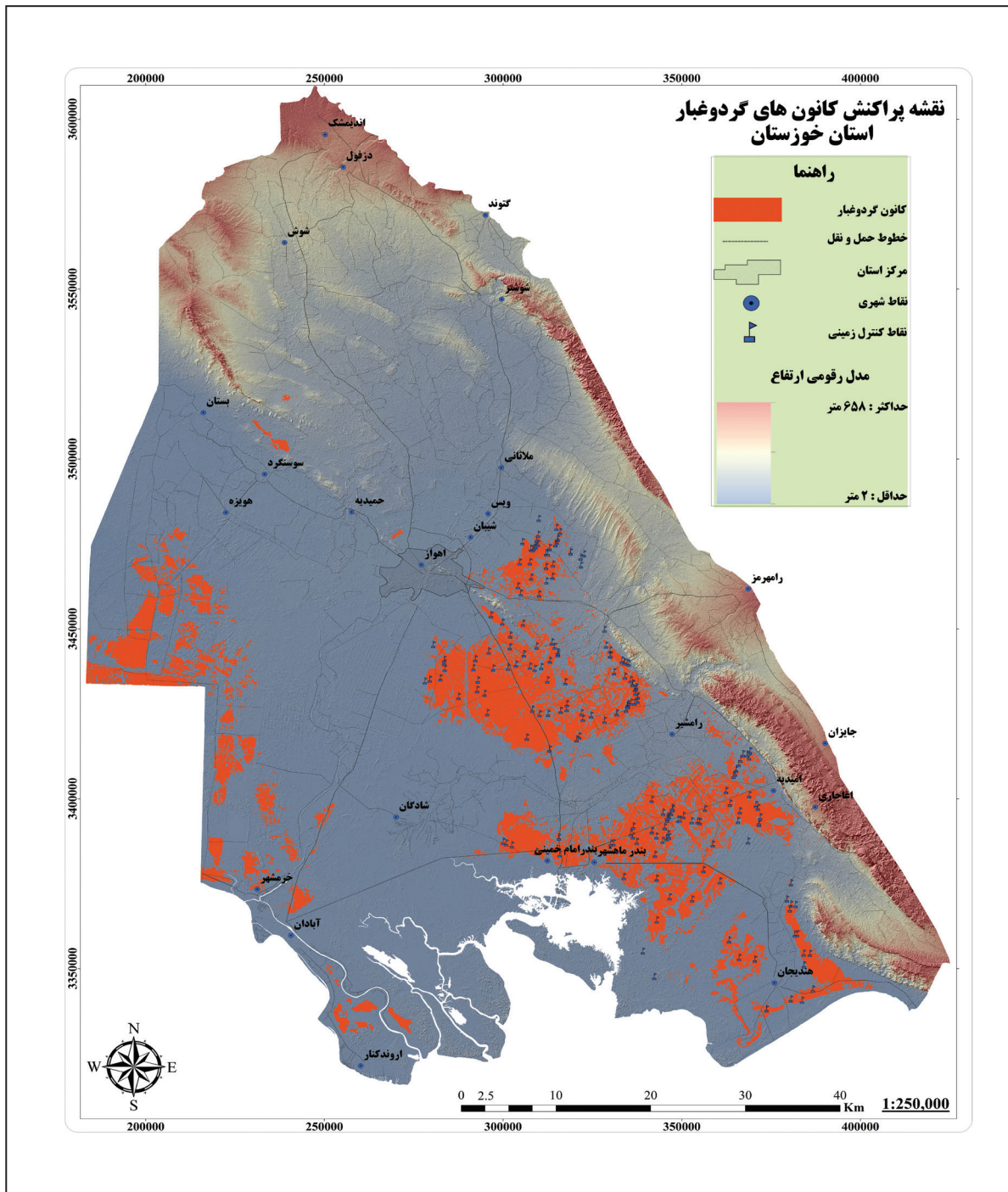
شکل ۴- فضای ویژگی پوشش گیاهی-دمای سطح (Barrett and Petropoulos, 2014; Shafian and Maas, 2015).



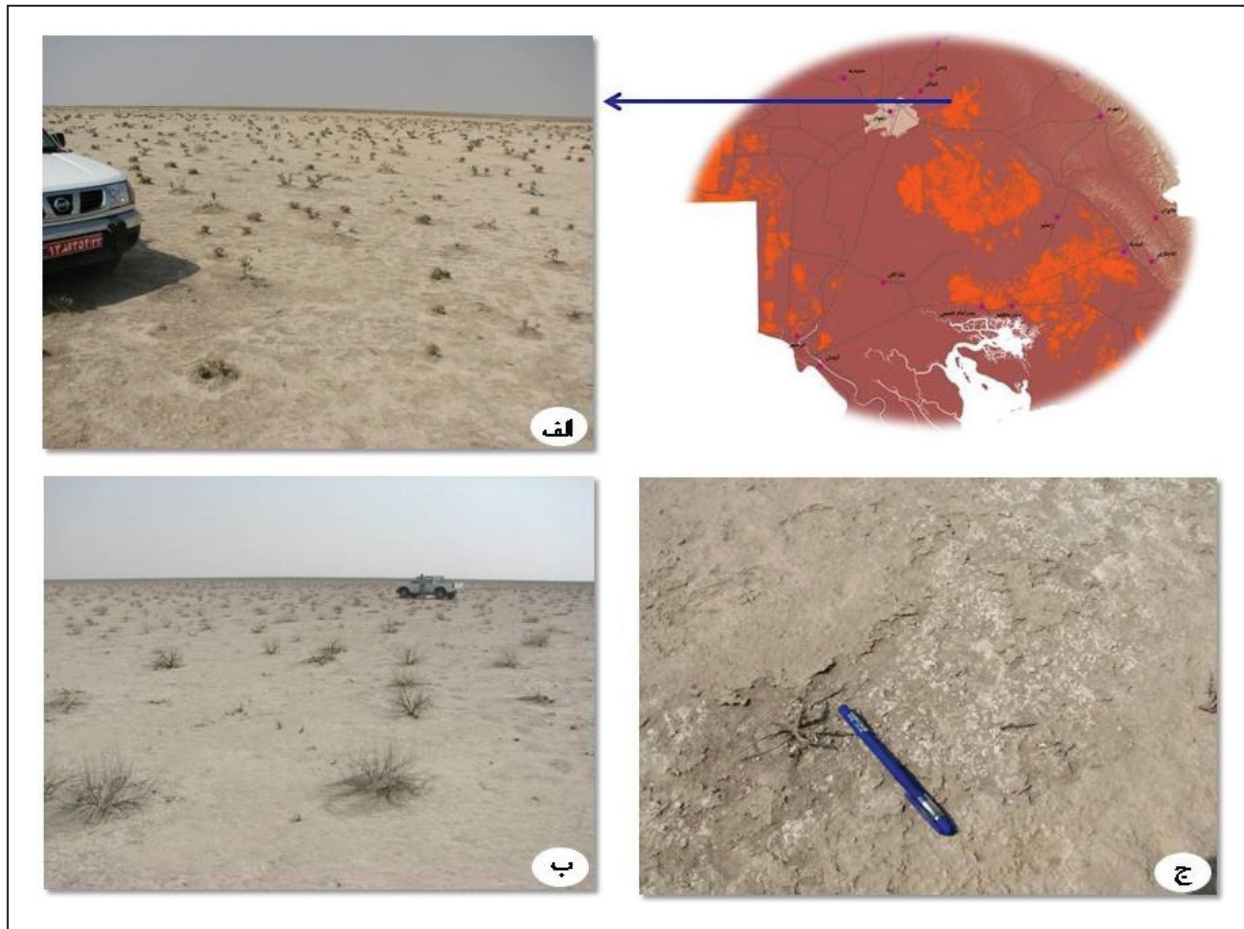
شکل ۵- الف) نقشه رسوب شناسی منطقه؛ ب) نقشه شاخص پوشش گیاهی SAVI.



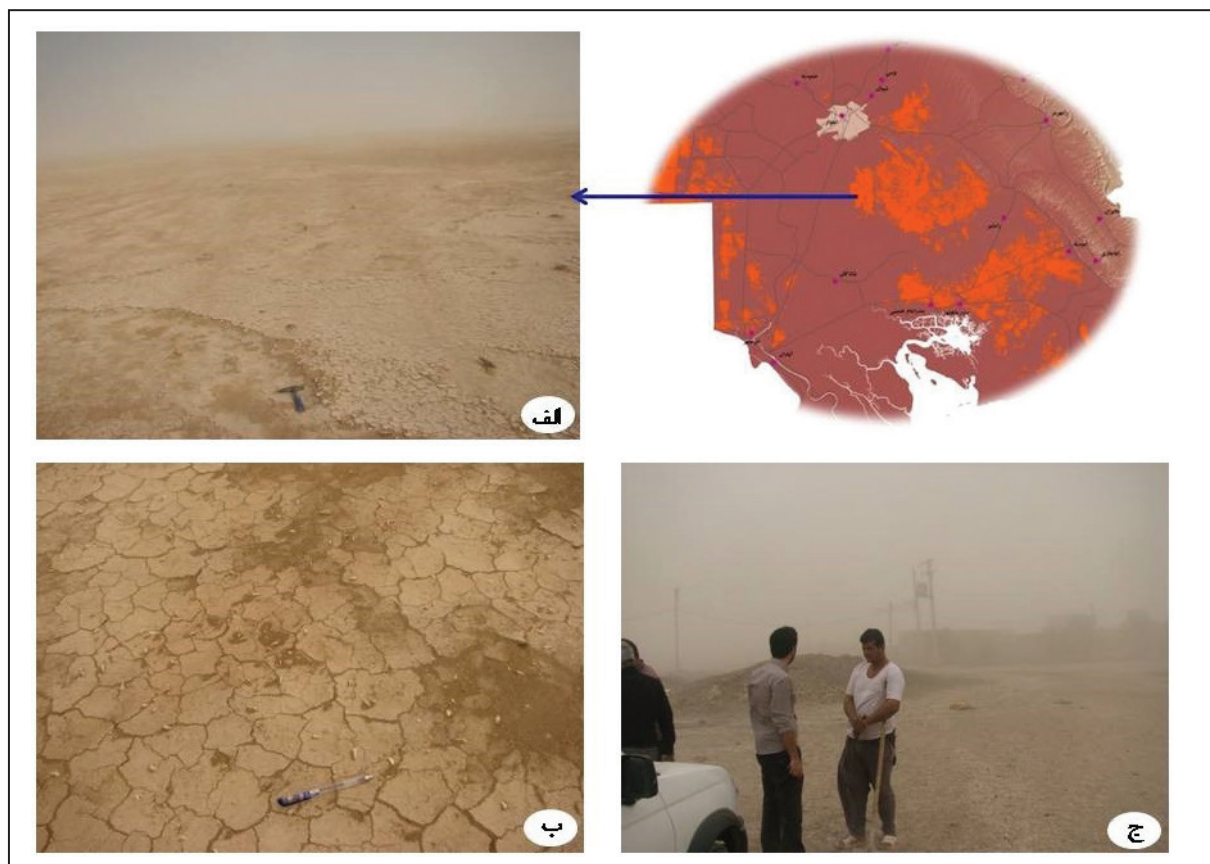
شکل ۶- الف) نقشه دمای سطح زمین؛ ب) نقشه رطوبت خاک.



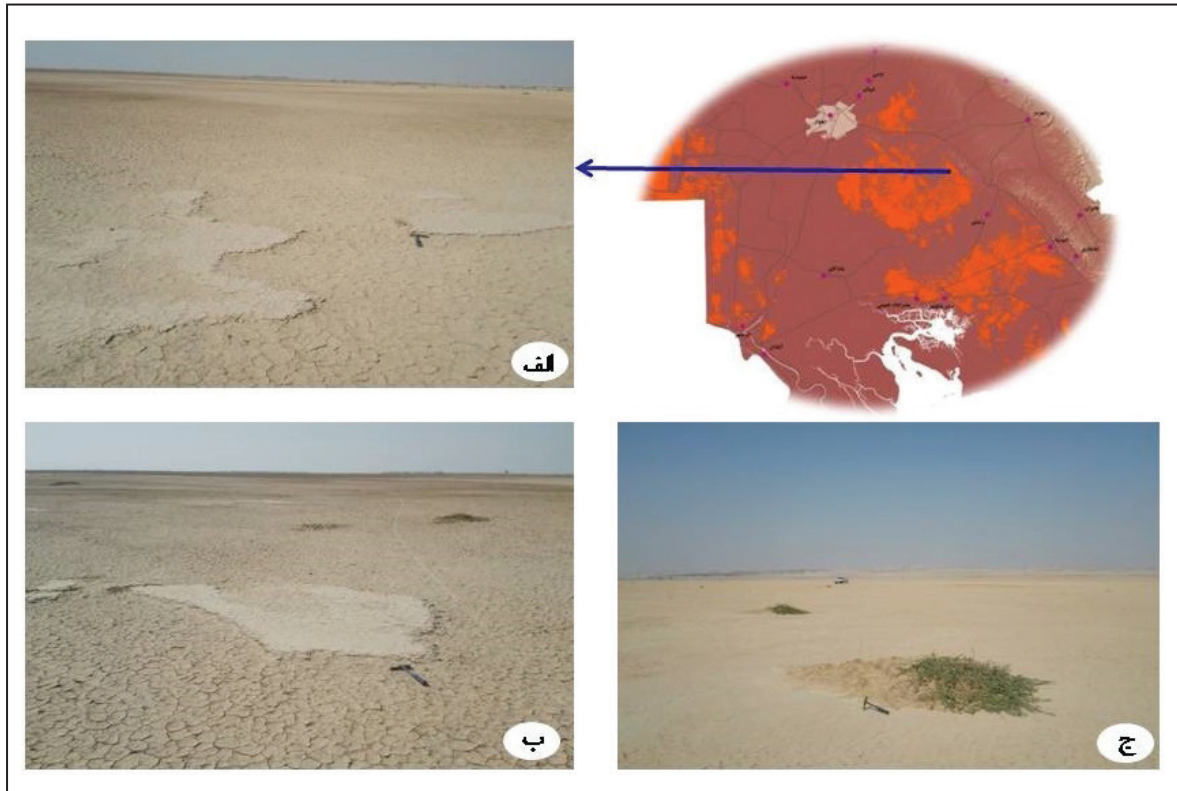
شکل ۷- نقشه پراکنش منشأهای تولید گردوغبار در استان خوزستان.



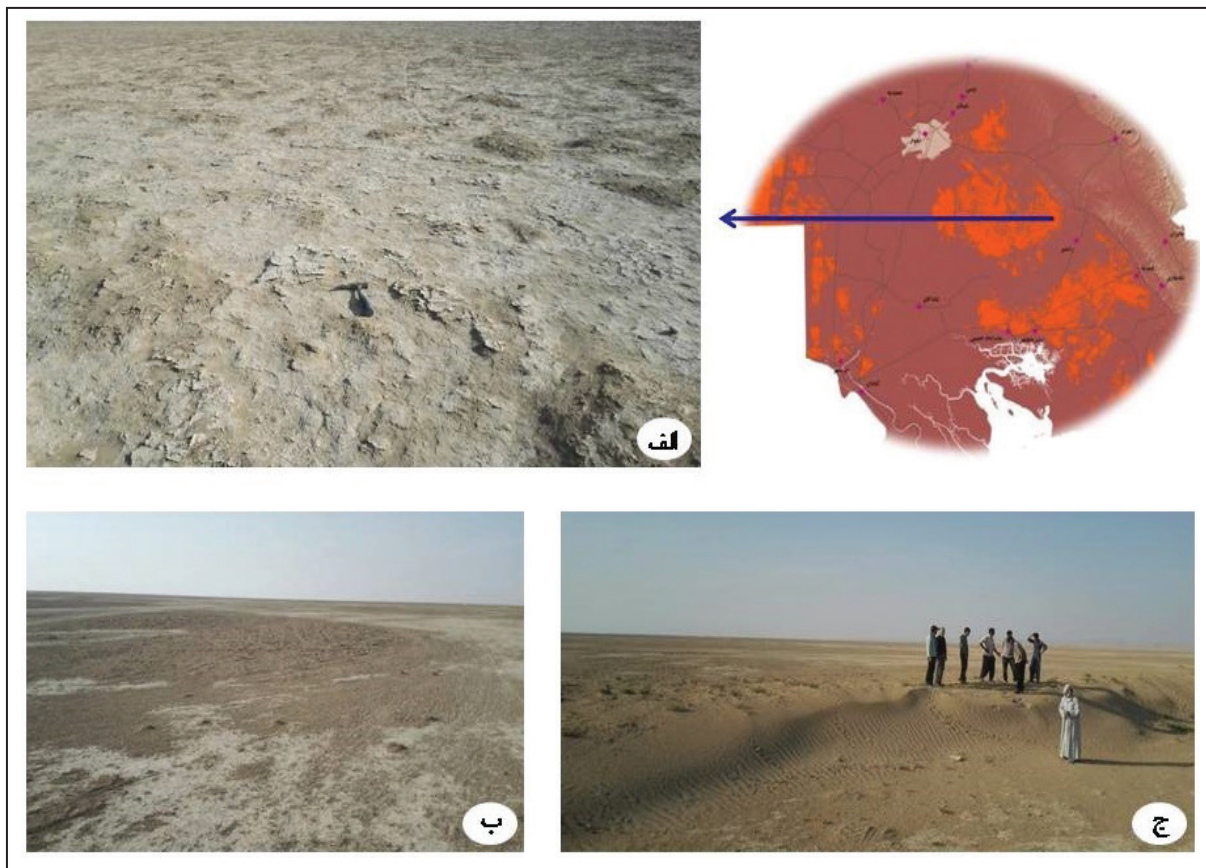
شکل ۸- حاشیه پلاهای مالچ (الف) مراتع در حال تخریب؛ (ب) بوته زار خشک شده؛ (ج) آثار فرسایش بادی و برداشت قشر سطحی خاک.



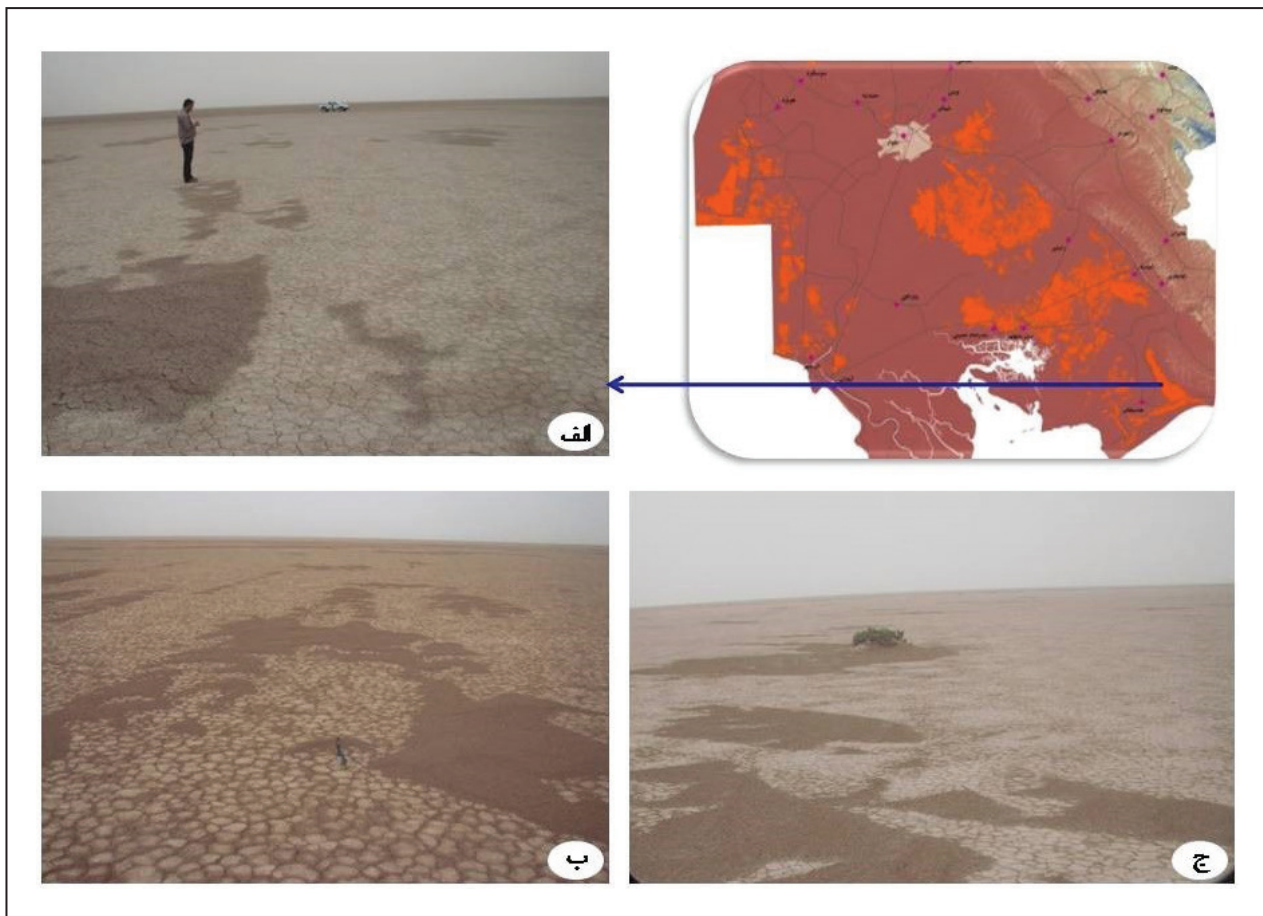
شکل ۹- پهنه رسی در باختر نهر مالچ در جنوب اهواز: (الف) برداشت بخش‌هایی از خاک سطحی به ژرفای بیش از ۳ سانتی‌متر؛ (ب) فسیل‌های شکم پا در نهشته‌های رسی؛ (ج) رخداد توفان گردوغبار و غلظت بالای آن در آبادی‌های محدوده کانون.



شکل ۱۰- پهنه رسی در شمال باختر رامشیر: الف و ب) برداشت گسترده بخش‌های سطحی خاک به ژرفای ۳ تا ۴ سانتی متر، بخش‌های برجای مانده به رنگ روشن‌تر است؛ ج) تجمع بخش‌های ماسه‌ای در پناه بوته‌ها و تشکیل نیکا.



شکل ۱۱- زمین‌های کشاورزی دیم در باختر رامشیر: الف) ایجاد ناهمواری‌ها در نتیجه انتقال بخش‌های دانه‌ریز رسی و تجمع بخش‌های دانه‌درشت ماسه‌ای؛ ب و ج) تجمع تدریجی بخش‌های دانه‌درشت‌تر ماسه‌ای و تشکیل برخان در نزدیکی روستای حصیف.



شکل ۱۲- کفه‌های رسی شرق همدیجان: الف، ب و ج) انتقال بخش‌های دانه‌ریز رسی و تشکیل برخان‌ها در نتیجه تجمع ذرات دانه‌درشت‌تر.

جدول ۱- اعداد فازی و مقیاس های فازی (Mahendran et al., 2014).

مقیاس فازی مثلثی	تعریف	عدد فازی
(۱, ۱, ۱)	دقیقاً مساوی	۱
(۳/۱, ۱, ۲/۲)	اهمیت یکسان	۲
(۳, ۲/۱, ۲)	اهمیت ضعیف	۳
(۵/۳, ۲, ۲/۲)	اهمیت قوی	۴
(۵, ۳/۲, ۲)	اهمیت خیلی قوی	۵
(۷/۵, ۳, ۲/۲)	اهمیت مطلق	۶

جدول ۲- مقایسه زوجی و وزن فازی هر لایه.

وزن FAHP	ضریب ناسازگاری	SAVI	دمای سطح	رطوبت خاک	
۰/۲۳۶	۰/۰۸	۰/۲	۰/۵	۱	رطوبت خاک
۰/۲۵۷		۰/۲۵	۱	۲	دمای سطح
۰/۵۰۶		۱	۴	۵	SAVI

کتابنگاری

- پرهیزگار، ا. و غفاری گیلانده، ع.، ۱۳۸۵- سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چندمعیاری، انتشارات سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت).
 حیدریان، پ.، رنگزن، ک.، ملکی، س.، تقی زاده، ا. و عزیزی قلاتی، س.، ۱۳۹۳- مکان‌یابی محل دفن پسماند شهری با استفاده از مدل‌های Fuzzy-AHP و Fuzzy-TOPSIS در محیط GIS: مطالعه موردی شهر پاکدشت استان تهران، مجله بهداشت و توسعه، سال سوم، شماره ۱، ص ۱ تا ۱۳.
 عطائی، م.، ۱۳۸۹- تصمیم‌گیری چندمعیاره، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
 علوی‌پناه، ک.، ۱۳۸۲- کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم، ۴۷۸ ص.
 علوی‌پناه، ک.، ۱۳۸۵- سنجش از دور و کاربرد آن در علوم زمین، انتشارات دانشگاه تهران.
 هاشمی، س. م.، علوی‌پناه، س. ک. و دیناروندی، م.، ۱۳۹۲- ارزیابی توزیع مکانی دمای سطح زمین در محیط زیست شهری با کاربرد سنجش از دور حرارتی، محیط‌شناسی، سال ۳۹، شماره ۱، ص ۸۱ تا ۹۲.

References

- Al-Jumaily, K. J. and Ibrahim, M. K., 2013- Analysis of synoptic situation for dust storms in Iraq. International Journal of Energy and Environment, 4: 851-858.
 Barrett, B. W. and Petropoulos, G. P., 2014- Satellite Remote Sensing of Surface Soil Moisture.
 Bolorani, A. D., Nabavi, S., Azizi, R. and Bahrami, H., 2013- Characterization of dust storm sources in western Iran using a synthetic approach. Advances in meteorology, climatology and atmospheric physics, 415-420.
 Cao, H., Amiraslani, F., Liu, J. and Zhou, N., 2015- Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets. Science of the Total Environment, 502: 224-235.
 Esmaili, O., Tajrishy, M. and Arasteh, P. D., 2006- Evaluation of dust sources in Iran through remote sensing and synoptical analysis. Atlantic Europe conference on remote imaging and spectroscopy, 136-43.
 Givehchi, R., Arhami, M. and Tajrishy, M., 2013- Contribution of the Middle Eastern dust source areas to PM10 levels in urban receptors: Case study of Tehran, Iran. Atmospheric Environment, 75: 287-295.
 Goudie, A. S., 2009- Dust storms: recent developments. J Environ Manage, 90: 89-94.
 Goudie, A. S., 2014- Desert dust and human health disorders. Environment International, 63: 101-113.
 Hamidi, M., Kavianpour, M. R. and Shao, Y., 2013- Synoptic analysis of dust storms in the Middle East. Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 49: 279-286.
http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php.

- Jakiel, P. and Fabianowski, D., 2015- FAHP model used for assessment of highway RC bridge structural and technological arrangements. *Expert Systems with Applications*, 42: 4054–4061.
- 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.
- Mahendran, P., Moorthy, M. B. K. and Saravanan, S., 2014- A fuzzy AHP approach for selection of measuring instrument for engineering college selection. *Applied Mathematical Sciences*, 44: 2149 – 2161.
- Menendez, I., Diaz-Hernandez, J., Mangas, J. and Alonso, I., 2007- Sanchez-Soto P. Airborne dust accumulation and soil development in the North-East sector of Gran Canaria (Canary Islands, Spain). *Journal of Arid Environment*, 71: 57–81.
- Moridnejad, A., Karimi, N. and Ariya, P. A., 2015- Newly desertified regions in Iraq and its surrounding areas: Significant novel sources of global dust particles. *Journal of Arid Environments*, 116: 1-10.
- Shafian, S. and Maas, S. J., 2015- Index of Soil Moisture Using Raw Landsat Image Digital Count Data in Texas High Plains. *Remote Sensing*, 7: 2352-2372.
- Taheri Shahraini, H., Karimi, K., Habibi Nokhandan, M. and Hafezi Moghadas, N., 2015- Monitoring of dust storm and estimation of aerosol concentration in the Middle East using remotely sensed images. *Arab Journal Geoscience*, 8: 2095-2110.
- Tsolmon, R., Ochirkhuyag, L. and Sternberg, T., 2008- Monitoring the source of trans-national dust storms in north East Asia. *International Journal of Digital Earth*, 1:119–129.
- Weng, H., Jia, X., Li, K. and Li, Y., 2015- Horizontal wind erosion flux and potential dust emission in arid and semiarid regions of China: A major source area for East Asia dust storms. *Catena*, 133: 373–384.
- Wong, S. and Dessler, A. E., 2015- Suppression of deep convection over the tropical North Atlantic by the Saharan Air Layer. *Geophysical Research Letter*, 32: 1-4.
- Xu, H., 2007- Extraction of Urban Built-up Land Features from Landsat Imagery Using a Thematic-oriented Index Combination Technique. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 73 (12): 1381–1391.

Identifying interior sources of dust storms using remote sensing, GIS and geology (case study: Khuzestan province)

P. Heidarian^{1*}, A. Azhdari¹, M. Jodaki², J. Darvishi Khatooni¹ and R. Shahbazi³

¹M.Sc., Geological Survey of Iran, Southwestern Area (Ahwaz Center), Ahwaz, Iran

²Ph.D., Geological Survey of Iran, Southwestern Area (Ahwaz Center), Ahwaz, Iran

³Ph.D., Applied Geological Research Center of Iran, Karaj, Iran

Received: 2016 January 26

Accepted: 2016 June 07

Abstract

Significant damages have been caused by dust storm in Iran, particularly in Khuzestan province. Thus, as a primary step to fight with dust storms, it is necessary to map dust sources. The purpose of this study is to identify dust sources using a combination approach of remote sensing, GIS and sedimentology in Khuzestan province. For this, spatial data of soil, land use, climate, slope (collected from related organizations) and sedimentology were used as constraint layers, and vegetation, land surface temperature (LST) and soil moisture constitute the main layers. Sedimentology map was prepared by field sampling (900 samples) and remote sensing techniques. Also the main layers were extracted by performing the necessary computational processes on Landsat 8 satellite images. The constraint layers were applied to remove the areas without any potential of dust source. In next step, main layers weighting was done using pairwise comparison and Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) methods. For preparing map of dust sources, each major layer was multiplied by corresponding weight and were then integrated to present a dust source zonation map. To validate the results, a field work was carried out in 180 points of source areas that verifies high accuracy of the prepared map. Results showed that 9 percent of Khuzestan plain, equivalent to 349254 hectares, are dust-generating sources. Based on land use type and area, the identified zones include destroyed range, rainfed agriculture lands, bare lands, wetlands, dried ponds and irrigated agriculture lands, respectively.

Keywords: Dust storms, Dust source identification, Remote sensing, Sedimentology, GIS, Khuzestan province.

For Persian Version see pages 33 to 46

*Corresponding author: P. Heidarian; E-mail: Peyman.2012RS@Gmail.com