

تحلیل و پهنه‌بندی فراوانی فصلی توفان‌های گردوغباری ایران به‌منظور کاهش مخاطرات



صیاد اصغری سراسکانرود (s.asghari@Urmia.ac.ir)

استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه ارومیه

بتول زینالی*

استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۹/۱۸ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۲۹)

چکیده

ایران هر ساله بارها تحت تأثیر توفان‌های گردوغباری قرار می‌گیرد. این پدیده به‌ویژه در سال‌های اخیر جنبه‌های مختلفی از زندگی مردم را تحت تأثیر قرار داده است. هدف این تحقیق، خوشه‌بندی فصلی ایران از نظر فراوانی وقوع توفان‌های گردوغباری با قدرت دید کمتر از ۱۰۰۰ و ۵۰۰ متر در دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۰۸ است. بدین منظور از داده‌های ۸۷ ایستگاه سینوپتیکی که توزیع فضایی مناسبی در سطح کشور داشتند استفاده شد. در این تحقیق، با استفاده از روش خوشه‌بندی فازی، ایران از نظر فراوانی توفان‌های گردوغباری در هر یک از فصول سال به پنج ناحیه متفاوت طبقه‌بندی شد. ایستگاه‌های واقع در این خوشه‌ها در هر یک از فصول سال از نظر موقعیت جغرافیایی، آب‌وهوا و منابع توفان همگن نیستند، ولی از نظر قدرت دید و شدت توفان‌های ایجادشده یکنواخت‌اند. با توجه به نتایج خوشه‌بندی، ایستگاه‌های بررسی‌شده در استان‌های سیستان و بلوچستان، خوزستان و بوشهر در فصل بهار؛ ایستگاه‌های بررسی‌شده در استان خوزستان و ایستگاه‌های زابل، زاهدان و ایرانشهر (استان سیستان و بلوچستان) در فصل تابستان؛ ایستگاه زابل در فصل پاییز؛ و ایستگاه‌های زابل، زاهدان، کنارک، آبادان و اهواز در فصل زمستان، از نظر وقوع توفان‌های گردوغباری دچار بحران‌اند. بیشترین فراوانی توفان‌ها به‌ترتیب در فصول تابستان و بهار، و کمترین آنها به‌ترتیب در فصول پاییز و زمستان مشاهده شد. بنابراین در استان‌های خوزستان و سیستان و بلوچستان که در هر چهار فصل با فراوانی زیاد این توفان‌ها مواجه‌اند، باید برنامه‌ریزی‌های ملی و بین‌المللی جدی به‌منظور کاهش مخاطرات ناشی از آن صورت گیرد.

واژه‌های کلیدی: ایران، توفان گردوغباری، خوشه‌بندی فازی، مخاطرات.

مقدمه

ویژگی یک مخاطره از طریق مکان، بزرگی، اندازه، فراوانی و احتمال وقوع آن و همچنین جمعیت و مردمی که تحت تأثیر قرار می‌دهد و نوع رخداد تشخیص داده می‌شود [۹]. پدیده گردوغبار از بزرگ‌ترین مشکلات محیطی در نواحی مشخصی از جهان است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک فراوانی بیشتری دارد [۴، ۱۷]. توفان گردوغباری نیز نوعی رویداد غباری است که ذرات زیادی از گردوغبار را از سطوح بیابانی بالا می‌برد و با گسترش آنها در نواحی وسیع، قدرت دید را به کمتر از یک کیلومتر کاهش می‌دهد [۱۵، ۱۶]. مطالعات نشان می‌دهند که پدیده گردوغبار در سال‌های اخیر از نظر غلظت و گسترش ذرات معلق، تداوم، وسعت و زمان آن متفاوت و بسیار بیشتر از توفان‌های گردوغبار گذشته است و این سبب نگرانی‌های بسیاری در حوزه‌های انسانی و محیطی شده است. سامانه‌های جوی، ساختارهای طبیعی سطح زمین و عوامل ناشی از دخالت بشر، از دلایل مؤثر بر این پدیده‌اند [۲]. با توجه به تأثیرات گردوغبار بر تغییرات اقلیم، سلامت انسان، اقتصاد، محیط زیست و حمل‌ونقل از یک‌سو و همچنین فقدان مطالعات داخلی در زمینه فراوانی فصلی وقوع توفان‌های گردوغباری با معیار قدرت دید کمتر از ۱ کیلومتر، تحقیق در این زمینه ضرورت یافت تا علاوه بر شناخت ویژگی‌های فصلی توفان‌های گردوغباری کشور، نواحی بحرانی از نظر وقوع این پدیده به‌صورت فصلی جهت برنامه‌ریزی‌های نهادها و سازمان‌های مربوط معرفی شود.

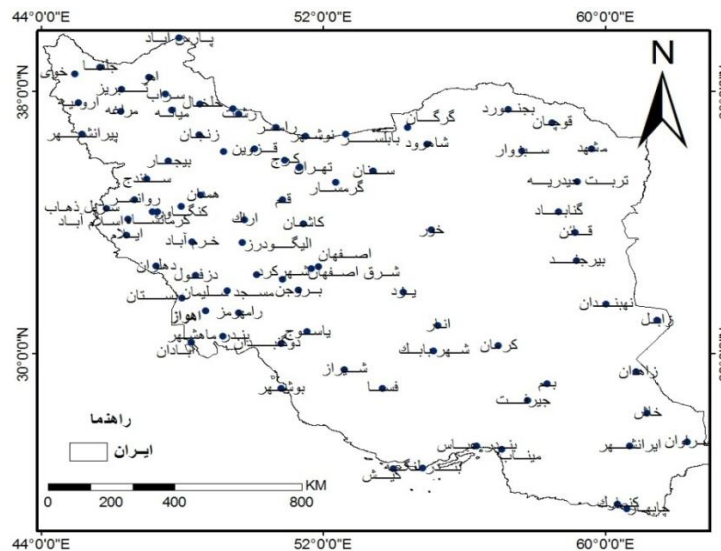
گردوغبار بیابانی از زمان‌های خیلی دور مورد توجه علاقه‌مندان جهان طبیعی بوده و در ایلید هومر و نیز در نوشته‌های روم باستان به‌صورت رویدادهای عجیب مانند باران خون توصیف شده است. اولین مشاهدات علمی در این زمینه مربوط به کارهای چارلز داروین [۱۱] و فون ریشتهوفن [۱۹] است. مطالعه گردوغبار فقط در چند دهه اخیر به‌عنوان موضوع محیطی مهم و با رویکرد کمی توسعه یافته است [۱۵]. وانگ تیان‌مینگ، ارتباط بین گرمایش جهانی و تغییرات توفان‌های گردوغباری در چین را بررسی کرد و به این نتیجه رسید که گرمایش جهانی سبب کاهش شیب عرضی دما و در نتیجه کاهش شدت باد می‌شود و این دلیل احتمالی کاهش فراوانی توفان‌های گردوغباری در طی دوره ۲۰۰۰-۱۹۵۴ است [۲۰]. گائو و همکاران با تحقیق درباره تأثیرات ناهنجاری‌های آب‌وهوا بر افزایش چشمگیر توفان‌های گردوغباری زمین‌های ماسه‌ای هانشداک در شمال چین در دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ نتیجه گرفتند که خشکی (کمبود بارش محلی، دمای بیشتر، تبخیر شدید، کاهش پوشش گیاهی، رطوبت خاک و رطوبت نسبی) عاملی تأثیرگذار در فراوانی توفان‌های گردوغبار هانشداک است [۱۴].

والدهاوسرووا و همکاران، فراوانی و ویژگی طولانی‌مدت توفان‌های گردوغباری شمال‌شرق ایسلند را در دوره آماری ۲۰۱۱-۱۹۴۹ بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در مجموع ۱۰۳۳ رویداد گردوغباری در طی دوره تحقیق در این منطقه مشاهده شده که از این میان، ۱۴ توفان گردوغباری با قدرت دید کمتر از ۵۰۰ متر شناسایی شد. در این پژوهش بیشترین فراوانی رویدادهای گردوغباری در دهه‌های ۱۹۵۰، ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ و در ماه‌های ژوئیه و سپتامبر گزارش شد. آنها همچنین اشاره کردند که فراوانی و شدت رویدادهای گردوغباری به نوسانات فشار سطح دریا بستگی دارد که بادهای جنوبی شمال‌شرق ایسلند را کنترل می‌کند [۲۱]. فرج‌زاده و رازی، فراوانی و توزیع زمانی و مکانی توفان‌های ایران را براساس بادهای با سرعت بیش از ۱۵ متر در ثانیه تحلیل و پهنه‌بندی کردند. براساس این تحقیق، توزیع توفان‌ها در کشور روند ثابتی ندارد و به‌طور کلی ایستگاه زابل با تفاوت زیاد، بیشترین فراوانی وقوع توفان‌ها را داشته است. زاهدان، کرمان، تبریز، اصفهان، همدان و بندرانزلی شامل ایستگاه‌هایی با فراوانی وقوع زیاد و خرم‌آباد، مشهد، اراک، ارومیه، گرگان، شاهرود، شیراز، تربت حیدریه و سمنان شامل ایستگاه‌هایی با کمترین فراوانی وقوع بوده‌اند. بقیه ایستگاه‌ها از نظر فراوانی وقوع توفان‌ها مقدار متوسطی داشته‌اند [۷]. خالدی درباره زیان‌های اقتصادی ناشی از توفان‌های گردوغباری در سه استان ایلام، خوزستان و کرمانشاه در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ تحقیق کرد و به این نتیجه رسید که مجموع خسارت‌های این توفان‌ها در بخش کشاورزی سه استان از ۲۲۲۷ میلیون دلار در سناریوی اول تا ۱۳۳۶۱ میلیون دلار در سناریوی چهارم بوده است [۳].

داده‌ها و روش‌شناسی

به‌منظور خوشه‌بندی فصلی توفان‌های گردوغباری ایران، از داده‌های ساعتی و روزانه گردوغبار (قدرت دید افقی و کدهای هواشناسی) ۸۷ ایستگاه سینوپتیکی کشور با طول دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۸۷ استفاده شد (شکل ۱). با توجه به اینکه داده‌های گردوغبار به‌صورت تفکیک‌نشده از سایر پدیده‌های هواشناسی از سازمان هواشناسی دریافت می‌شود، در وهله اول کدهای مربوط به گردوغبار شامل کدهای ۶ تا ۹ و ۳۰ تا ۳۵ از سایر پدیده‌های اقلیمی (کدهای ۰ تا ۱۰۰) در ساعات مختلف سینوپتیکی جدا شد. شایان ذکر است که کدهای ۳۰ تا ۳۵ مربوط به توفان‌های گردوغباری محلی به‌ترتیب ضعیف تا شدید است [۱۴]. ولی در این مطالعه برای تشخیص توفان‌های گردوغباری (محلی و فرامحلی) از فاکتورهای قدرت دید افقی ≤ 1000 متر برای همه کدهای هواشناسی گردوغبار استفاده شد [۱۶-۱۴، ۵]. در این تحقیق روز گردوغباری روزی است که طی هشت بار دیدبانی عناصر جوی در شبانه‌روز دست‌کم یک بار در

هر ایستگاه گزارش شد. در صورت مشاهده چندباره گردوغبار در یک روز معین در طی هشت بار دیدبانی شبانه‌روزی عناصر جوی، ساعت کمترین دید افقی به‌عنوان روز گردوغباری انتخاب شد. بعد از استخراج روزهای گردوغباری در دوره تحقیق برای هر ایستگاه، فراوانی روزهای گردوغباری با قدرت دید کمتر از ۱۰۰۰ و ۵۰۰ متر در دوره تحقیق برای هر یک از ایستگاه‌های بررسی شده و در هر یک از فصول سال استخراج شد (جدول‌های ۱ تا ۴). ایستگاه‌های بررسی شده در ایران براساس داده‌های جدول‌های ۱ تا ۴ و با استفاده از روش فازی خوشه‌بندی شدند که در ادامه این روش معرفی شده است.



شکل ۱. نقشه پراکنش مکانی ایستگاه‌های بررسی شده [نگارندگان، ۱۳۹۳]

جدول ۱. فراوانی توفان‌های گردوغبار ایستگاه‌های بررسی شده در فصل زمستان با قدرت دید کمتر از ۱۰۰۰ و ۵۰۰ متر

شماره	ایستگاه‌ها	<۱۰۰۰	<۵۰۰	شماره	ایستگاه‌ها	<۱۰۰۰	<۵۰۰
۱	آبادان	۶۷	۳۴	۴۵	رشت	۰	۰
۲	اهواز	۵۹	۱۶	۴۶	روانسر	۲	۰
۳	اهر	۱	۰	۴۷	زابل	۵۸	۱۵
۴	الیگودرز	۰	۰	۴۸	زاهدان	۵۶	۲۱

ادامه جدول ۱. فراوانی توفان‌های گردوغبار ایستگاه‌های بررسی شده در فصل زمستان با قدرت دید کمتر از ۱۰۰۰ و ۵۰۰ متر

شماره	ایستگاه‌ها	<۱۰۰۰	<۵۰۰	شماره	ایستگاه‌ها	<۱۰۰۰	<۵۰۰
۵	انار	۱۱	۳	۴۹	زنجان	۰	۰
۶	اراک	۲	۰	۵۰	سبزوار	۳	۲
۷	اردبیل	۶	۲	۵۱	سنندج	۲	۰
۸	ارومیه	۰	۰	۵۲	سراب	۴	۳
۹	ایلام	۷	۱	۵۳	سارارود	۰	۰
۱۰	اصفهان	۰	۰	۵۴	سراوان	۱۲	۳
۱۱	اسلام آباد	۲	۰	۵۵	سرپل ذهاب	۷	۲
۱۲	ایرانشهر	۳۲	۱۴	۵۶	سمنان	۱	۰
۱۳	بندر انزلی	۰	۰	۵۷	شهربابک	۱۰	۴
۱۴	بابلسر	۰	۰	۵۸	شهرکرد	۰	۰
۱۵	بم	۲۶	۱۵	۵۹	شاهرود	۳	۱
۱۶	بندر لنگه	۲۰	۱	۶۰	شرق اصفهان	۲	۱
۱۷	بندر ماهشهر	۴۱	۱۳	۶۱	شیراز	۵	۰
۱۸	بندر عباس	۱۶	۴	۶۲	فسا	۰	۰
۱۹	بیجار	۰	۰	۶۳	قائن	۷	۳
۲۰	بیرجند	۵	۴	۶۴	قزوین	۰	۰
۲۱	یچنورد	۱	۱	۶۵	قوچان	۰	۰
۲۲	بستان	۴۶	۹	۶۶	قم	۳	۲
۲۳	بروجن	۲	۱	۶۷	کنگاور	۵	۱
۲۴	بوشهر	۲۰	۱۳	۶۸	کرج	۰	۰
۲۵	پارس آباد	۰	۰	۶۹	کاشان	۰	۰
۲۶	پیرانشهر	۰	۰	۷۰	کنارک	۵۷	۲۷
۲۷	تبریز	۱	۰	۷۱	کرمان	۱۱	۵
۲۸	تهران	۰	۰	۷۲	کرمانشاه	۵	۱
۲۹	ترت حیدریه	۱	۰	۷۳	کیش	۸	۳
۳۰	جیرفت	۹	۶	۷۴	کوهرنگ	۰	۰
۳۱	جلفا	۵	۲	۷۵	گرمسار	۰	۰
۳۲	چابهار	۸	۳	۷۶	گناباد	۱	۰
۳۳	خلخال	۰	۰	۷۷	گرگان	۰	۰
۳۴	خاش	۲۸	۱۰	۷۸	مراغه	۰	۰
۳۵	خرم‌آباد	۳	۱	۷۹	مشهد	۳	۲

ادامه جدول ۱. فراوانی توفان‌های گردوغبار ایستگاه‌های بررسی شده در فصل زمستان با قدرت دید کمتر از ۱۰۰۰ و ۵۰۰ متر

شماره	ایستگاه‌ها	<۱۰۰۰	<۵۰۰	شماره	ایستگاه‌ها	<۱۰۰۰	<۵۰۰
۳۶	خرم‌دره	۰	۰	۸۰	مسجد سلیمان	۲۰	۸
۳۷	خوربیابانک	۶	۰	۸۱	میانه	۰	۰
۳۸	خوی	۱	۰	۸۲	میناب	۵	۰
۳۹	دهلران	۸	۵	۸۳	نهبندان	۶	۰
۴۰	دزفول	۲۲	۸	۸۴	نوشهر	۱	۰
۴۱	دوگنبدان	۵	۲	۸۵	همدان	۰	۰
۴۲	دوشان تپه	۰	۰	۸۶	یاسوج	۰	۰
۴۳	رامهرمز	۲	۱	۸۷	یزد	۱۹	۸
۴۴	رامسر	۰	۰				

جدول ۲. فراوانی توفان‌های گردوغبار ایستگاه‌های بررسی شده در فصل بهار با قدرت دید کمتر از ۱۰۰۰ و ۵۰۰ متر

شماره	ایستگاه‌ها	<۱۰۰۰	<۵۰۰	شماره	ایستگاه‌ها	<۱۰۰۰	<۵۰۰
۱	آبادان	۱۲۵	۶۸	۴۵	رشت	۰	۰
۲	اهواز	۷۹	۲۴	۴۶	روانسر	۱۸	۶
۳	اهر	۲	۰	۴۷	زابل	۱۹۴	۵۸
۴	الیگودرز	۱	۰	۴۸	زاهدان	۴۵	۱۶
۵	انار	۶	۴	۴۹	زنجان	۱	۱
۶	اراک	۱	۰	۵۰	سبزوار	۳	۰
۷	اردبیل	۳	۰	۵۱	سنندج	۱۴	۶
۸	ارومیه	۳	۰	۵۲	سراب	۱	۰
۹	ایلام	۲۱	۴	۵۳	سارارود	۷	۲
۱۰	اصفهان	۳	۱	۵۴	سراوان	۱۳	۴
۱۱	اسلام‌آباد	۱۰	۳	۵۵	سرپل ذهاب	۱۳	۳
۱۲	ایرانشهر	۴۱	۲۱	۵۶	سمنان	۱	۱
۱۳	بندر انزلی	۰	۰	۵۷	شهربابک	۴	۱
۱۴	بایلسر	۰	۰	۵۸	شهرکرد	۲	۱
۱۵	بم	۲۸	۱۱	۵۹	شاهرود	۰	۰
۱۶	بندر لنگه	۲۲	۲	۶۰	شرق اصفهان	۶	۴

ادامه جدول ۲. فراوانی توفان‌های گردوغبار ایستگاه‌های بررسی شده در فصل بهار با قدرت دید کمتر از ۱۰۰۰ و ۵۰۰ متر

شماره	ایستگاه‌ها	<۱۰۰۰	<۵۰۰	شماره	ایستگاه‌ها	<۱۰۰۰	<۵۰۰
۱۷	بندر ماهشهر	۵۸	۲۲	۶۱	شیراز	۳	۱
۱۸	بندر عباس	۲۴	۵	۶۲	فسا	۱	۰
۱۹	بیجار	۴	۰	۶۳	قائن	۴	۰
۲۰	بیرجند	۲	۱	۶۴	قزوین	۳	۰
۲۱	بجنورد	۱	۰	۶۵	قوچان	۰	۰
۲۲	بستان	۵۳	۱۳	۶۶	قم	۵	۲
۲۳	بروجن	۰	۰	۶۷	کنگاور	۱۰	۱
۲۴	بوشهر	۵۱	۱۱	۶۸	کرج	۳	۰
۲۵	پارس آباد	۰	۰	۶۹	کاشان	۱	۰
۲۶	پیرانشهر	۲	۰	۷۰	کنارک	۱۲۴	۵۳
۲۷	تبریز	۸	۲	۷۱	کرمان	۱۷	۵
۲۸	تهران	۲	۱	۷۲	کرمانشاه	۲۲	۷
۲۹	تربت حیدریه	۱	۱	۷۳	کیش	۷	۰
۳۰	چیرفت	۱۵	۴	۷۴	کوه‌رنگ	۰	۰
۳۱	جلقا	۲	۱	۷۵	گرمسار	۲	۲
۳۲	چابهار	۱۳	۶	۷۶	گناباد	۷	۳
۳۳	خلخال	۰	۰	۷۷	گرگان	۲	۱
۳۴	خاش	۴۲	۱۱	۷۸	مراغه	۳	۱
۳۵	خرم‌آباد	۶	۰	۷۹	مشهد	۱	۰
۳۶	خرم دره	۴	۱	۸۰	مسجد سلیمان	۶۰	۱۳
۳۷	خور بیابانک	۹	۲	۸۱	میانه	۰	۰
۳۸	خوی	۰	۰	۸۲	میناب	۶	۱
۳۹	دهلران	۲۸	۱۴	۸۳	نهبندان	۷	۴
۴۰	دزفول	۳۳	۶	۸۴	نوشهر	۰	۰
۴۱	دوگنبدان	۹	۳	۸۵	همدان	۲	۰
۴۲	دوشان تپه	۲	۰	۸۶	یاسوج	۰	۰
۴۳	رامهرمز	۸	۲	۸۷	یزد	۱۷	۷
۴۴	رامسر	۰	۰				

جدول ۳. فراوانی توفان‌های گردوغبار ایستگاه‌های بررسی‌شده در فصل تابستان با قدرت دید کمتر از ۱۰۰۰ و ۵۰۰ متر

شماره	ایستگاه‌ها	<۱۰۰۰	<۵۰۰	شماره	ایستگاه‌ها	<۱۰۰۰	<۵۰۰
۱	آبادان	۶۷	۳۵	۴۵	رشت	۰	۰
۲	اهواز	۵۱	۲۲	۴۶	روانسر	۱	۱
۳	اهر	۰	۰	۴۷	زابل	۳۲۶	۱۱۵
۴	الیگودرز	۲	۰	۴۸	زاهدان	۷۷	۲۶
۵	انار	۱	۱	۴۹	زنجان	۰	۰
۶	اراک	۲	۱	۵۰	سبزوار	۱	۰
۷	اردبیل	۰	۰	۵۱	سنندج	۵	۳
۸	ارومیه	۲	۰	۵۲	سراب	۰	۰
۹	ایلام	۳۲	۱۵	۵۳	سارارود	۱	۰
۱۰	اصفهان	۴	۰	۵۴	سراوان	۳۸	۱۴
۱۱	اسلام‌آباد	۱۸	۳	۵۵	سرپل ذهاب	۱۷	۶
۱۲	ایرانشهر	۵۵	۲۵	۵۶	سمنان	۱	۱
۱۳	بندر انزلی	۰	۰	۵۷	شهربابک	۰	۰
۱۴	بابلسر	۰	۰	۵۸	شهرکرد	۰	۰
۱۵	بم	۷	۱	۵۹	شاهرود	۰	۰
۱۶	بندر لنگه	۲۶	۳	۶۰	شرق اصفهان	۵	۲
۱۷	بندر ماهشهر	۵۸	۲۸	۶۱	شیراز	۷	۱
۱۸	بندر عباس	۱۲	۱	۶۲	فسا	۳	۰
۱۹	بیجار	۲	۰	۶۳	قائن	۷	۰
۲۰	بیرجند	۵	۲	۶۴	قزوین	۱	۰
۲۱	بجنورد	۱	۱	۶۵	قوچان	۱	۰
۲۲	بستان	۵۱	۱۲	۶۶	قم	۰	۰
۲۳	بروجن	۰	۰	۶۷	کنگاور	۷	۰
۲۴	بوشهر	۳۸	۸	۶۸	کرج	۲	۰
۲۵	پارس‌آباد	۰	۰	۶۹	کاشان	۱	۱
۲۶	پیرانشهر	۱	۰	۷۰	کنارک	۳۸	۱۵
۲۷	تبریز	۳	۱	۷۱	کرمان	۴	۱
۲۸	تهران	۳	۲	۷۲	کرمانشاه	۱۶	۸
۲۹	ترت حیدریه	۰	۰	۷۳	کیش	۶	۰
۳۰	چیرفت	۸	۱	۷۴	کوه‌رنگ	۰	۰

ادامه جدول ۳. فراوانی توفان‌های گردوغبار ایستگاه‌های بررسی شده در فصل تابستان با قدرت دید کمتر از ۱۰۰۰ و ۵۰۰ متر

شماره	ایستگاه‌ها	<۱۰۰۰	<۵۰۰	شماره	ایستگاه‌ها	<۱۰۰۰	<۵۰۰
۳۱	جلفا	۵	۳	۷۵	گرمسار	۰	۰
۳۲	چابهار	۰	۰	۷۶	گناباد	۵	۳
۳۳	خلخال	۰	۰	۷۷	گرگان	۱	۰
۳۴	خاش	۳۷	۹	۷۸	مراغه	۲	۰
۳۵	خرم‌آباد	۶	۰	۷۹	مشهد	۲	۰
۳۶	خرم‌دره	۰	۰	۸۰	مسجد سلیمان	۷۸	۲۴
۳۷	خوربیابانک	۳	۱	۸۱	میانه	۱	۱
۳۸	خوی	۰	۰	۸۲	میناب	۴	۱
۳۹	دهلران	۳۲	۱۸	۸۳	نهبندان	۱۴	۲
۴۰	دزفول	۵۲	۱۷	۸۴	نوشهر	۰	۰
۴۱	دوگنبدان	۱۷	۵	۸۵	همدان	۱	۰
۴۲	دوشان‌تپه	۰	۰	۸۶	یاسوج	۴	۱
۴۳	رامهرمز	۱۴	۲	۸۷	یزد	۵	۳
۴۴	رامسر	۰	۰				

جدول ۴. فراوانی توفان‌های گردوغبار ایستگاه‌های بررسی شده در فصل پاییز با قدرت دید کمتر از ۱۰۰۰ و ۵۰۰ متر

شماره	ایستگاه‌ها	<۱۰۰۰	<۵۰۰	شماره	ایستگاه‌ها	<۱۰۰۰	<۵۰۰
۱	آبادان	۲۸	۱۳	۴۵	رشت	۰	۰
۲	اهواز	۳۲	۱۵	۴۶	روانسر	۰	۰
۳	اهر	۱	۰	۴۷	زابل	۹۲	۱۸
۴	الیگودرز	۰	۰	۴۸	زاهدان	۱۸	۵
۵	انار	۴	۱	۴۹	زنجان	۰	۰
۶	اراک	۱	۱	۵۰	سبزوار	۰	۰
۷	اردبیل	۲	۰	۵۱	سنندج	۱	۰
۸	ارومیه	۰	۰	۵۲	سراب	۰	۰
۹	ایلام	۰	۰	۵۳	سارارود	۰	۰
۱۰	اصفهان	۱	۰	۵۴	سراوان	۴	۱
۱۱	اسلام‌آباد	۰	۰	۵۵	سرپل ذهاب	۲	۰

ادامه جدول ۴. فراوانی توفان‌های گردوغبار ایستگاه‌های بررسی شده در فصل پاییز با قدرت دید کمتر از ۱۰۰۰ و ۵۰۰ متر

شماره	ایستگاه‌ها	<۱۰۰۰	<۵۰۰	شماره	ایستگاه‌ها	<۱۰۰۰	<۵۰۰
۱۲	ایران‌شهر	۸	۵	۵۶	سمنان	۰	۰
۱۳	بندر انزلی	۰	۰	۵۷	شهر بابک	۰	۰
۱۴	بابلسر	۰	۰	۵۸	شهرکرد	۲	۲
۱۵	بم	۱۰	۸	۵۹	شاهرود	۰	۰
۱۶	بندر لنگه	۶	۲	۶۰	شرق اصفهان	۲	۱
۱۷	بندر ماهشهر	۲۳	۱۰	۶۱	شیراز	۱	۰
۱۸	بندر عباس	۳۳	۱۴	۶۲	فسا	۰	۰
۱۹	بیجار	۰	۰	۶۳	قائن	۴	۱
۲۰	بیرجند	۰	۰	۶۴	قزوین	۰	۰
۲۱	بجنورد	۰	۰	۶۵	قوچان	۲	۱
۲۲	بستان	۸	۳	۶۶	قم	۳	۱
۲۳	بروجن	۰	۰	۶۷	کنگاور	۱	۱
۲۴	بوشهر	۷	۲	۶۸	کرج	۲	۱
۲۵	پارس آباد	۰	۰	۶۹	کاشان	۰	۰
۲۶	پیرانشهر	۱	۰	۷۰	کنارک	۱۹	۲
۲۷	تبریز	۰	۰	۷۱	کرمان	۲	۰
۲۸	تهران	۲	۰	۷۲	کرمانشاه	۱	۰
۲۹	تربت حیدریه	۳	۳	۷۳	کیش	۴	۲
۳۰	چیرفت	۵	۲	۷۴	کوهرنگ	۰	۰
۳۱	جلفا	۰	۰	۷۵	گرمسار	۰	۰
۳۲	چابهار	۷	۲	۷۶	گناباد	۵	۱
۳۳	خلخال	۰	۰	۷۷	گرگان	۰	۰
۳۴	خاش	۵	۳	۷۸	مراغه	۱	۰
۳۵	خرم‌آباد	۰	۰	۷۹	مشهد	۳	۲
۳۶	خرم‌دره	۰	۰	۸۰	مسجد سلیمان	۷	۰
۳۷	خورر بیابانک	۵	۳	۸۱	میانه	۰	۰
۳۸	خوی	۰	۰	۸۲	میناب	۲	۱
۳۹	دهلران	۵	۱	۸۳	نهبندان	۳	۲
۴۰	دزفول	۴	۱	۸۴	نوشهر	۰	۰
۴۱	دوگنبدان	۰	۰	۸۵	همدان	۰	۰
۴۲	دوشان تپه	۰	۰	۸۶	یاسوج	۰	۰
۴۳	رامهرمز	۰	۰	۸۷	یزد	۱	۱
۴۴	رامسر	۰	۰				

خوشه‌بندی فازی (FCM)^۱

هدف از خوشه‌بندی، تقسیم داده‌ها به مجموعه‌ای از دسته‌ها است که در آن هر دسته شباهت و نزدیکی بیشتری در مقایسه با داده‌های سایر دسته‌ها به هم دارد [۱۲]. تعدادی از روش‌های خوشه‌بندی اشیا را به دو یا چند خوشه بخش‌بندی می‌کنند و هر شیء را فقط در یک خوشه جای می‌دهند. این روش‌ها، روش‌های کلاسیک‌اند [۸]. نظریه فازی برای رفتار مناسب‌تر با این مشکلات ارائه شده است. در منطق فازی هر شیء با درجه عضویتی به خوشه‌ها تعلق می‌گیرد. بنابراین یک شیء می‌تواند همزمان عضو دو یا چند خوشه باشد [۱، ۸]. روش‌های فازی بسیار زیاد و گوناگون‌اند که در این پژوهش از روش فازی c میانگین (FCM) استفاده شد. الگوریتم FCM توسط دان [۱۳] و بزدرک [۱۰] مطرح شده و برای تحلیل فراوانی ناحیه‌ای به‌طور وسیع استفاده شده است [۱۲، ۱۸]. به‌منظور بیان روش خوشه‌بندی فازی، مجموعه‌ای از داده‌های $\{x_1, \dots, x_n\}$ مد نظر قرار می‌گیرد. هدف خوشه‌بندی فازی، دسته‌بندی داده‌ها به تعداد C خوشه است که به صورت ماتریس $U = [\mu_{ik}]_{C \times n}$ بیان می‌شود. در این رابطه μ_{ik} درجه عضویت داده K به خوشه C ام است که به صورت زیر مدل می‌شود [۱، ۱۱].

$$0 \leq \mu_{ik} \leq 1 \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^c \mu_{ik} = 1 \quad (2)$$

$$0 < \sum_{k=1}^n \mu_{ik} \leq n \quad (3)$$

$K = 1, 2, \dots, n \quad i = 1, 2, \dots, c$

در روابط بالا، i تعداد خوشه‌ها و K تعداد داده‌ها است. از طرف دیگر می‌توان نشان داد که با کمینه کردن تابع هدف زیر، داده‌های موجود در هر خوشه نسبت به داده‌های موجود در خوشه‌های دیگر از شباهت بیشتری برخوردار خواهند بود [۱۱].

$$J(P) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c [\mu_{ik}]^m \|X_k - V_i\|^2 \quad (4)$$

در رابطه بالا m عددی بزرگ‌تر از یک است که میزان درجه عضویت را کنترل می‌کند، X_k بردار داده‌ها، V_i مرکز و $\|X_k - V_i\|^2$ نیز فاصله اقلیدسی بین داده‌ها و مراکز خوشه‌ها است [۱]. در مباحث خوشه‌بندی داده‌ها، شاخص‌های مختلفی بیان می‌شود که اغلب مبنی بر مراکز

خوشه‌ها هستند [۱]. برای کمینه کردن (۳-۴)، باید همواره (۳-۵) و (۳-۶) در تکرارهای مختلف بهنگام شوند.

$$V_i = \frac{\sum_{k=1}^n [\mu_{ik}] X_k}{\sum_{k=1}^n [\mu_{ik}]^m}, i = 1, 2, \dots, c \quad (5)$$

$$\mu_{ik}^{(t+1)} = \left[\sum_{j=1}^c \left(\frac{\|X_k - V_i^{(t)}\|^r}{\|X_k - V_j^{(t)}\|^r} \right)^{\frac{1}{m-1}} \right]^{-1} \quad (6)$$

در رابطه‌های بالا $\mu_{ik}^{(t+1)}$ درجه عضویت داده k ام از دسته C ام در تکرار $(t+1)$ ام است [۱۲]. اجرای الگوریتم پیشنهادی دارای مراحل زیر بود:

قدم اول: مقدار t برابر صفر در نظر گرفته شد و یک کد اولیه $P^{(c)}$ ایجاد شد؛ قدم دوم: در هر تکرار، مراکز خوشه‌ها با استفاده از رابطه ۵ محاسبه و یک مقدار برای m انتخاب شد؛ قدم سوم: $\mu_i^{(t+1)}$ با استفاده از رابطه ۶ محاسبه و کد اولیه در تکرار $(t+1)$ ام بهنگام شد [۱۳، ۱۰، ۱]. در این تحقیق، روش خوشه‌بندی فازی به وسیله برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار متلب^۱ اجرا شد. به دلیل اینکه ورودی این مدل حداقل باید دو پارامتر باشد، پارامتر داده‌های فراوانی توفان‌های گردوغباری با قدرت دید کمتر از ۱ کیلومتر برای ایستگاه‌های بررسی شده در هر یک از فصول سال به دو دسته داده‌های فراوانی توفان‌های با قدرت دید کمتر از ۵۰۰ متر و کمتر از ۱۰۰۰ متر تفکیک شد.

بحث

همان‌گونه که در شکل‌های ۲. الف. ۲. ب؛ ۳. الف. ۳. ب؛ ۴. الف. ۴. ب؛ ۵. الف. ۵. ب و جدول ۱ مشاهده می‌شود، ایستگاه‌های بررسی شده براساس فراوانی توفان‌های گردوغباری (با قدرت دید کمتر از ۱۰۰۰ و ۵۰۰ متر) در دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۸۷ و در هر یک از فصول سال به پنج کلاس طبقه‌بندی شده‌اند که در ادامه به تفسیر هر یک از فصول پرداخته شده است. شایان ذکر است که این تفسیرها براساس فراوانی توفان‌های گردوغباری با قدرت دید کمتر از ۱۰۰۰ متر در دوره تحقیق انجام گرفت؛ زیرا فراوانی توفان‌های با قدرت دید کمتر از ۵۰۰ متر در زیرمجموعه آن است.

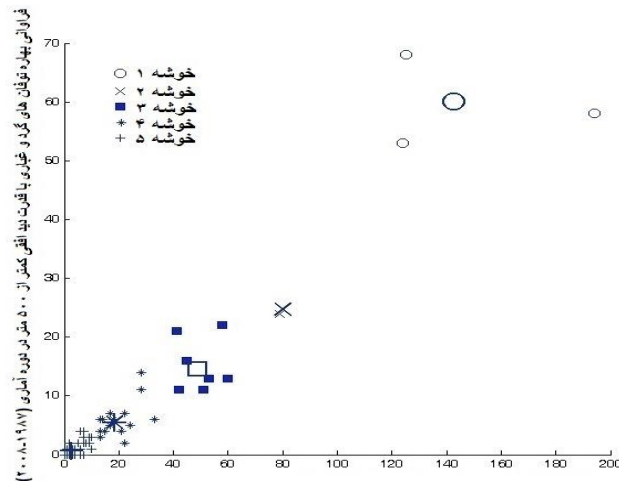
خوشه‌بندی ایران از نظر فراوانی وقوع توفان‌های گردوغباری در فصل بهار

با توجه به جدول ۵ بعد از فصل تابستان، بیشترین فراوانی توفان‌های گردوغباری ایران با قدرت دید کمتر از ۱۰۰۰ متر در دوره تحقیق مربوط به فصل بهار است. در این فصل خوشه‌بندی ایران براساس فراوانی توفان‌های گردوغباری بدین شرح است: خوشه ۱ شامل ایستگاه‌های زابل، آبادان و کنارک است که فراوانی وقوع توفان‌های گردوغباری این خوشه بین ۱۲۴ تا ۱۹۵ روز در دوره تحقیق است و هسته‌های اصلی توفان‌های گردوغباری در فصل بهار به‌شمار می‌روند. خوشه ۲ شامل ایستگاه اهواز است که فراوانی وقوع توفان‌های گردوغباری این خوشه ۷۴ روز در دوره تحقیق است. خوشه ۳ شامل ایستگاه‌های ایرانشهر، خاش، مسجدسلیمان، زاهدان، بندر ماهشهر، بستان و بوشهر است که فراوانی وقوع توفان‌های گردوغباری در این خوشه ۴۱ تا ۶۰ روز در دوره تحقیق است. ایستگاه‌های واقع در این خوشه بلافاصله در اطراف خوشه دو پخش شده‌اند. خوشه ۴ شامل ایستگاه‌های بم، بندرلنگه، بندرعباس، چابهار، دهلران، دزفول، ایلام، جیرفت، کرمان، کرمانشاه، روانسر، سنندج، سراوان، سرپل ذهاب و یزد است که فراوانی وقوع توفان‌های آن ۱۳ تا ۳۳ روز در طی دوره تحقیق است. خوشه ۵ شامل قسمت‌های شمال، شمال غرب، شمال شرق، مرکز ایران و همچنین ارتفاعات بلند زاگرس است که فراوانی وقوع توفان‌های این خوشه ۰ تا ۱۰ روز در دوره مطالعه است. اکثر ایستگاه‌های این خوشه در دوره تحقیق فاقد روز گردوغباری‌اند. در این فصل از یک طرف به‌دلیل اختلاف فشار ایجادشده بین پاکستان و شمال افغانستان، فعالیت بادهای صدویست‌روزه سیستان شروع می‌شود و از طرف دیگر، رطوبت سطح به‌دلیل وضعیت در حال افزایش دما و تبخیر تعرق در حال افزایش است که سبب افزایش توفان‌های گردوغباری منطقه شمال شرق، جنوب، مرکز و به‌ویژه شرق و جنوب شرق می‌شود. با این حال ایستگاه‌های واقع در این مناطق به‌علت شرایط توپوگرافی، میکرواقلیمی متفاوت، قرارگیری در مسیر بادهای صدویست‌روزه، نزدیکی به بیابان‌های مجاور و همچنین فراهم بودن رسوبات ریزدانه و سست در خوشه‌های مختلف جای گرفته‌اند، به‌طوری‌که ایستگاه‌های زابل و کنارک در خوشه ۱ قرار دارند، ولی ایستگاه‌های زاهدان، ایرانشهر و خاش در خوشه ۳ قرار گرفته‌اند. در همین فصل مناطق شمال غرب، جنوب و به‌ویژه غرب و جنوب غرب ایران نیز دارای فراوانی زیاد توفان‌های گردوغباری‌اند که منشأ بیرونی دارند و توسط عوامل سینوپتیکی وارد کشور می‌شوند. در این فصل بادهای غربی به‌تدریج از ایران خارج می‌شوند و این فرایند ابتدا از جنوب آغاز می‌شود [۶]. ولی وجود کم‌فشارهای سطح زمین بر روی بیابان‌های کشورهای همسایه به‌همراه تضعیف زبانه پرفشار جنب حاره آزر در بعضی مواقع و همچنین خشکی هوا و نبود رطوبت سبب فراهم شدن شرایط توفان گردوغباری و

ورود آن به غرب و جنوب غرب ایران می‌شود. فراوانی توفان‌های گردوغباری در این مناطق با توجه به موقعیت ایستگاه‌ها نسبت به مسیرهای اصلی سینوپتیکی و شرایط توپوگرافیکی و طبیعی محل متفاوت است، به طوری که ایستگاه آبادان در خوشه ۱، ایستگاه اهواز در خوشه ۲ و ایستگاه‌های مسجدسلیمان، بندر ماهشهر، بستان و بوشهر در خوشه ۳ قرار گرفته‌اند (شکل‌های ۲. الف و ۲. ب). در این فصل ایستگاه‌های بررسی شده در استان‌های سیستان و بلوچستان، خوزستان و بوشهر از نظر فراوانی وقوع توفان‌های شدید به وضعیت بحرانی دچارند.

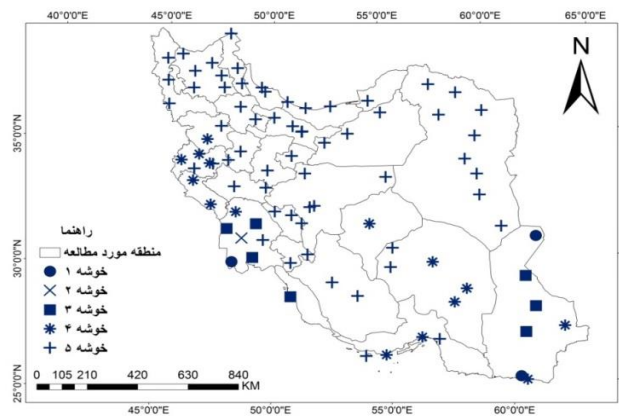
جدول ۵. میانگین فراوانی توفان‌های گردوغباری با قدرت دید کمتر از ۱۰۰۰ متر در هر یک از خوشه‌های فصول سال [نگارندگان، ۱۳۹۳]

فصول خوشه‌ها	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
خوشه ۱	۱۴۸	۳۲۶	۹۲	۵۹
خوشه ۲	۷۹	۷۴	۳۱	۴۰
خوشه ۳	۵۰	۵۳	۲۰	۲۱
خوشه ۴	۲۰	۳۴	۵	۷
خوشه ۵	۳	۳	۰	۱
مجموع	۳۰۰	۴۹۰	۱۴۸	۱۲۸



فراوانی بهاره توفان‌های گردوغباری با قدرت دید کمتر از ۱۰۰۰ متر در دوره آماری (۱۳۸۷-۱۳۸۰) [نگارندگان، ۱۳۹۳]

شکل ۲. الف. خوشه‌بندی فراوانی توفان‌های گردوغبار ایران در فصل بهار با استفاده از الگوریتم FCM [نگارندگان، ۱۳۹۳]

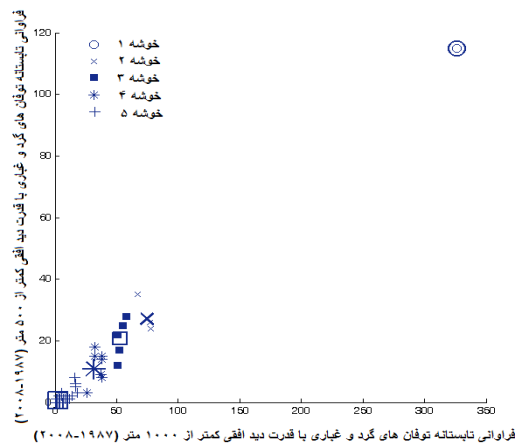


شکل ۲. ب. خوشه‌بندی ایران از نظر فراوانی وقوع توفان‌های گردوغباری در فصل بهار در دوره آماری (۲۰۰۸-۱۹۸۷) - [نگارندگان، ۱۳۹۳]

خوشه‌بندی ایران از نظر فراوانی وقوع توفان‌های گردوغباری در فصل تابستان

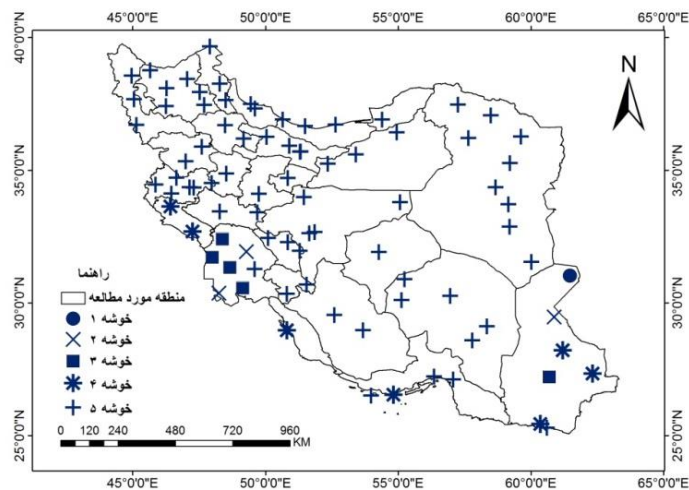
با توجه به جدول ۵، فراوانی وقوع توفان‌های گردوغباری در این فصل نسبت به فصل بهار افزایش یافته است. نتایج حاصل از خوشه‌بندی توفان‌های گردوغباری ایران در فصل تابستان (شکل‌های ۳، الف و ۳، ب) نشان داد که خوشه ۱ فقط شامل ایستگاه زابل است که فراوانی وقوع توفان‌های گردوغباری در این خوشه ۳۲۶ روز در دوره تحقیق است. خوشه ۲ شامل ایستگاه‌های آبادان، مسجدسلیمان و زاهدان است، به‌طوری‌که فراوانی وقوع توفان‌های گردوغباری این خوشه ۶۷ تا ۷۸ روز در دوره تحقیق است. خوشه ۳ شامل ایستگاه‌های اهواز، بندر ماهشهر، بستان، دزفول و ایرانشهر است که فراوانی وقوع توفان‌های گردوغباری آنها ۵۱ تا ۵۸ روز در دوره تحقیق است. خوشه ۴ شامل ایستگاه‌های بندرلنگه، بوشهر، دهلران، ایلام، کنارک، خاش و سراوان است که فراوانی وقوع توفان‌های آنها ۲۶ تا ۳۸ روز در طی دوره تحقیق است. خوشه ۵ شامل تمام ایستگاه‌های قسمت‌های شمال، شمال غرب، شمال شرق و تعدادی از ایستگاه‌های مرکز و ارتفاعات بلند زاگرس است که فراوانی وقوع توفان‌های این خوشه ۰ تا ۱۸ روز در دوره تحقیق است. در این خوشه تعداد ایستگاهی که در دوره تحقیق فاقد روز همراه با توفان گردوغباری بوده‌اند نسبت به فصل بهار بسیار کمتر است. در این فصل بادهای صدویست‌روزه سیستان تسلط کاملی در دشت سیستان دارند که به‌دلیل افزایش اختلاف شیب فشار بین مراکز ایجادکننده این باد، دشت سیستان با بادهای شدیدی مواجه است. از سوی دیگر به‌دلیل افزایش دمای هوا و تبخیر و تعرق بیشتر نسبت به فصل بهار، دریاچه‌های هامون خشک‌اند و پوشش گیاهی منطقه نیز کاهش می‌یابد. بنابراین بیابان‌های

لوت مرکزی ایران، بسترهای خشکیده هامون‌ها و همچنین بیابان‌های مارگو، ریگستان و خاش بین مرز کشورهای ایران، افغانستان و پاکستان بستر مناسبی را برای فرسایش توسط بادهای سدویبست‌روزه فراهم می‌آورد. ایستگاه‌های شمال شرق، شرق، جنوب شرق، جنوب و مرکز ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی آنها نسبت به این منابع گردوغباری، قرارگیری در مسیر شمال غربی- جنوب شرقی باد غالب منطقه، میکرواقلیم مسلط بر منطقه و همچنین توپوگرافی آن با شدت‌های متفاوت توفان مواجه‌اند که با توجه به توضیحات ذکر شده ایستگاه زابل هستهٔ پیشینهٔ فراوانی توفان را به خود اختصاص داده است. در غرب، شمال غرب، به‌ویژه جنوب و جنوب غرب ایران شرایط متفاوتی از نظر منابع و عوامل توفان وجود دارد. در این مناطق نقش عوامل بیرونی بارزتر می‌شود. هوای بسیار خشک مسلط بر بیابان‌های کشورهای همسایه سبب می‌شود که ناپایداری‌های این مناطق (ناشی از کم‌فشارهای سطحی و اغتشاشات سطوح بالایی جو) به توفان‌های گردوغباری تبدیل شوند و مناطق وسیعی را تحت سیطرهٔ خود قرار دهند. فراوانی وقوع ناپایداری‌ها در این فصل نسبت به فصل بهار به علت افزایش دمای سطح بیابان‌ها، خشکی بیشتر هوا و همچنین در مواقعی به دلیل عقب‌نشینی پرفشار جنب حاره در سطوح بالایی جو بیشتر است. مسیر ورود این ناپایداری‌ها به داخل ایران و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های موجود در منطقه عامل تفاوت شدت توفان بین ایستگاه‌ها است. در این فصل ایستگاه‌های بررسی شده در استان خوزستان و ایستگاه‌های زابل، زاهدان و ایرانشهر (استان سیستان و بلوچستان) از نظر وقوع این توفان‌های شدید، وضعیت بحرانی دارند.



شکل ۳. الف. خوشه‌بندی فراوانی توفان‌های گردوغبار ایران در فصل تابستان با استفاده از الگوریتم

FCM [نگارندگان، ۱۳۹۳]

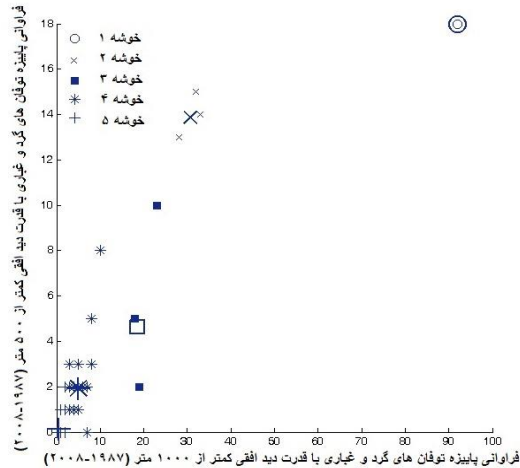


شکل ۳. ب. خوشه‌بندی ایران از نظر فراوانی وقوع توفان‌های گردوغباری در فصل تابستان در دوره آماری (۲۰۰۸-۱۹۸۷) [نگارندگان، ۱۳۹۳]

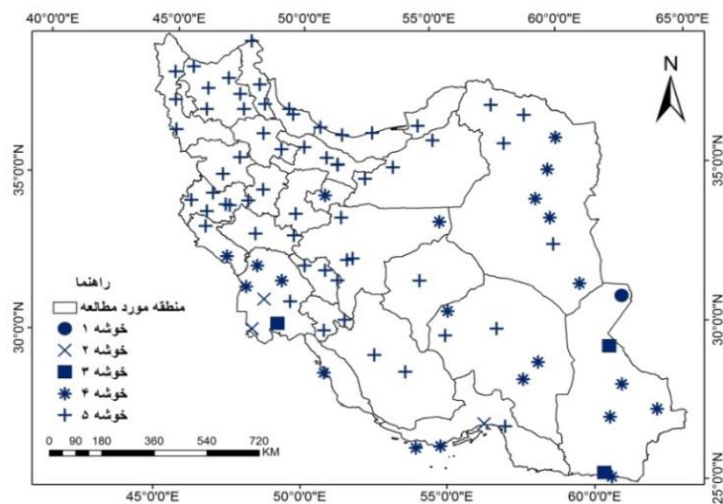
خوشه‌بندی ایران از نظر فراوانی وقوع توفان‌های گردوغباری در فصل پاییز

با توجه به جدول ۵ در این فصل کاهش بسیار محسوس فراوانی وقوع توفان‌های گردوغباری در کلیه خوشه‌ها نسبت به فصول بهار و تابستان مشاهده می‌شود که دلیل آن آغاز ورود سیستم‌های بیرونی همراه با ناپایداری و رطوبت از غرب [۶] و همچنین کاهش اختلاف فشار بین مراکز کم‌فشار پاکستان و پرفشار افغانستان به‌عنوان عامل اصلی ایجاد بادهای سدویست‌روزه شرق و جنوب شرق ایران است. در این فصل خوشه‌بندی توفان‌های گردوغباری در سطح کشور بدین شرح است (اشکال ۴ الف و ۴ ب): خوشه ۱ شامل ایستگاه زابل است که فراوانی وقوع توفان‌های گردوغباری ۹۲ روز در دوره تحقیق است. خوشه ۲ شامل ایستگاه‌های آبادان، اهواز و بندرعباس با فراوانی وقوع توفان‌های گردوغباری ۲۸ تا ۳۳ روزه در دوره تحقیق است. خوشه ۳ شامل ایستگاه‌های بندر ماهشهر، کنارک و زاهدان است که فراوانی وقوع توفان‌های این خوشه ۱۸ تا ۲۳ روز در دوره تحقیق است. خوشه ۴ شامل ایستگاه‌های انار، بم، بندر لنگه، بستان، بوشهر، چابهار، دهلران، دزفول، قائن، قم، گناباد، ایرانشهر، جیرفت، خاش، خوربیا، کیش، مشهد، مسجد سلیمان، نهبندان، سراوان و تربت حیدریه است که فراوانی وقوع توفان‌های آنها ۳ تا ۱۰ روز در طی دوره تحقیق است. خوشه ۵ شامل ایستگاه‌های بررسی شده در قسمت‌های شمال، شمال غرب، شمال شرق و تعدادی از ایستگاه‌های مرکز ایران و ارتفاعات بلند زاگرس است که فراوانی وقوع توفان‌های این خوشه ۰ تا ۲

روز در دوره مطالعه است. باید توجه داشت که اکثر ایستگاه‌های این خوشه در طی دوره تحقیق فاقد روز همراه با توفان گردوغباری بوده‌اند. در این فصل ایستگاه زابل از نظر توفان‌های گردوغباری دچار شرایط بحرانی است.



شکل ۴. الف. خوشه بندی فراوانی توفان‌های گردوغبار ایران در فصل پاییز با استفاده از الگوریتم FCM [نگارندگان، ۱۳۹۳]

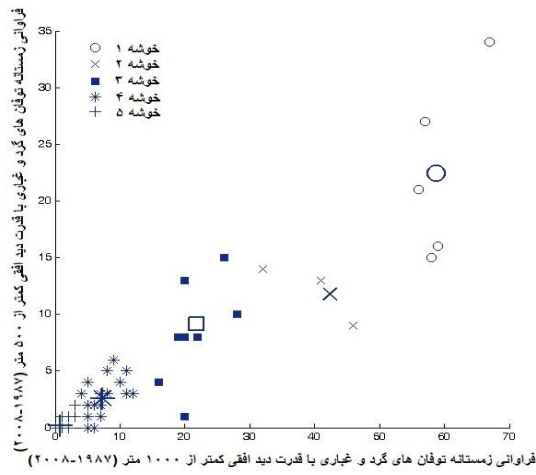


شکل ۴. ب. خوشه بندی ایران از نظر فراوانی وقوع توفان‌های گردوغباری در فصل پاییز در دوره آماری (۱۹۸۷-۲۰۰۸) [نگارندگان، ۱۳۹۳]

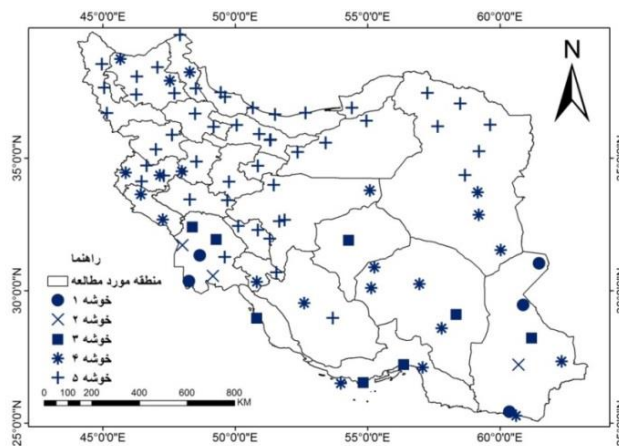
خوشه‌بندی ایران از نظر فراوانی وقوع توفان‌های گردوغباری در فصل زمستان

مطابق اطلاعات جدول ۵، فراوانی توفان‌های گردوغباری در فصل زمستان از فصل پاییز کمتر شده است. در این فصل، خوشه ۱ شامل ایستگاه‌های آبادان، اهواز، کنارک، زابل و زاهدان است که فراوانی وقوع توفان‌های گردوغباری آنها بین ۵۶ تا ۶۷ روز در دوره تحقیق است. خوشه ۲ شامل ایستگاه‌های بستان، بندرماهشهر و ایرانشهر با فراوانی وقوع توفان‌های ۳۲ تا ۴۶ روزه در دوره تحقیق است. خوشه ۳ شامل ایستگاه‌های بم، بندرلنگه، بندرعباس، بوشهر، دزفول، خاش، مسجدسلیمان و یزد است. فراوانی وقوع توفان‌ها در این خوشه ۱۶ تا ۲۸ روز در دوره تحقیق است. خوشه ۴ شامل ایستگاه‌های انار، اردبیل، بیرجند، چابهار، دهلران، دوگنبدان، ایلام، قائن، جیرفت، جلفا، کنگاور، کرمانشاه، خوربیبانک، کیش، میناب، نهبندان، سراب، سراوان، سرپل‌ذهاب، شهربایک و شیراز است که فراوانی وقوع توفان‌های آن ۵ تا ۱۲ روز در طی دوره تحقیق است. خوشه ۵ شامل تمام ایستگاه‌های قسمت‌های شمال، شمال غرب، شمال شرق و تعدادی از ایستگاه‌های مرکز ایران به‌همراه ارتفاعات بلند زاگرس است که فراوانی وقوع توفان‌های گردوغباری این خوشه ۰ تا ۳ روز در دوره مطالعه است. در این فصل بر تعداد ایستگاه‌های خوشه‌های ۴ و ۵ افزوده شده است. در فصل زمستان تمام ایران زیر نفوذ بادهای غربی، اغتشاشات و رطوبت آنها قرار می‌گیرد و در سطح زمین نیز مسیرهای سیکلونی تشکیل می‌شود [۶]. بنابراین ایستگاه‌ها و مناطق مختلف ایران با توجه به دوری و نزدیکی به منابع رطوبتی، مسیر سیکلون‌ها و جبهه‌ها از بارش‌ها و رطوبت‌های متفاوتی بهره‌مند می‌شوند. وجود همین رطوبت از فراوانی توفان‌های گردوغباری این فصل کاسته است. در این فصل ایستگاه‌های زابل، زاهدان، کنارک، آبادان و اهواز از نقاط بحرانی از نظر وجود این توفان‌ها به‌شمار می‌روند (شکل‌های ۵، الف و ۵، ب).

هدف از پرداختن به این موضوع، خوشه‌بندی ایران از نظر فراوانی گردوغبارهای شدید و تعیین مناطق بحرانی برای برنامه‌ریزی‌های ملی و بین‌المللی است. با شناخت این نواحی بحرانی، سازمان‌ها و مؤسسات ذی‌ربط، می‌توانند برنامه‌ریزی‌های خود را در مناطقی متمرکز کنند که با فراوانی زیاد این توفان‌ها مواجه‌اند، زیرا بی‌تردید در چنین مناطقی، خسارات توفان نیز بیشتر خواهد بود.



شکل ۵. الف. خوشه بندی فراوانی توفان های گردوغبار ایران در فصل زمستان با استفاده از الگوریتم FCM [نگارندگان، ۱۳۹۳]



شکل ۵. ب. خوشه بندی ایران از نظر فراوانی وقوع توفان های گردوغباری در فصل زمستان در دوره آماری (۱۹۸۷-۲۰۰۸) [نگارندگان، ۱۳۹۳]

نتیجه گیری

با توجه به آثار نامطلوب مستقیم و غیرمستقیم توفان های گردوغباری بر زندگی انسان، شناخت هر چه بیشتر این پدیده در استان های مختلف کشور و اقدامات و برنامه ریزی های لازم می تواند در

حفظ محیط زیست و شرایط پایدار اکولوژیکی مؤثر واقع شود. در این تحقیق، با استفاده از روش خوشه‌بندی فازی، ایران از نظر فراوانی توفان‌های گردوغباری با قدرت دید کمتر از ۱۰۰۰ و ۵۰۰ متر در هر یک از فصول سال به پنج خوشه متفاوت طبقه‌بندی شد. براساس نتایج در هر یک از فصول سال، خوشه ۵ در مقایسه با خوشه‌های ۱ تا ۴ تعداد زیادی از ایستگاه‌های بررسی‌شده را شامل می‌شود. ایستگاه‌های واقع در این خوشه‌ها در هر یک از فصول سال از نظر موقعیت جغرافیایی و آب‌وهوا همگن نیستند، ولی از نظر قدرت دید و شدت توفان‌های ایجادشده یکنواخت‌اند. بیشترین فراوانی توفان‌ها به‌ترتیب در تابستان و بهار، و کمترین آن به‌ترتیب در پاییز و زمستان مشاهده شد. در فصل بهار ایستگاه‌های بررسی‌شده در استان‌های سیستان و بلوچستان، خوزستان و بوشهر؛ در فصل تابستان ایستگاه‌های بررسی‌شده در استان خوزستان و ایستگاه‌های زابل، زاهدان و ایرانشهر (استان سیستان و بلوچستان)؛ در فصل پاییز ایستگاه‌های زابل؛ و در فصل زمستان ایستگاه‌های زابل، زاهدان، کنارک، آبادان و اهواز، از نظر وقوع توفان‌های گردوغباری دچار وضعیت بحرانی بودند. نتایج خوشه‌بندی توفان‌های گردوغباری ایران در هر کدام از فصول سال بیانگر این است که هر چه از جنوب غرب و غرب و همچنین جنوب شرق و شرق ایران به طرف شمال غرب، شمال، ارتفاعات بلند زاگرس، مرکز و جنوب آن پیش می‌رویم، از فراوانی وقوع توفان‌های گردوغباری کاسته می‌شود (شکل‌های ۲. الف تا ۵. ب). در مطالعات داخلی در زمینه توفان‌های گردوغباری ایران یا قسمت‌هایی از آن طبقه‌بندی صورت نگرفته و بیشتر مطالعات در زمینه علل سینوپتیکی آن یا روند تغییرات آن است. در پژوهشی، فرج‌زاده و رازی [۷] فراوانی و توزیع زمانی و مکانی توفان‌های ایران را براساس بادهای با سرعت بیش از ۱۵ متر در ثانیه تحلیل و پهنه‌بندی کرده‌اند. برپایه این تحقیق ایستگاه زابل در ماه جولای با تفاوت زیاد بیشترین فراوانی وقوع توفان‌ها را داشته است. در تحقیق مذکور، معیار سرعت باد است، ولی یافته‌های آن با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. در پژوهش حاضر نیز زابل در همه فصول سال بیشترین فراوانی توفان‌های گردوغباری را داشته است.

منابع

- [۱]. افراخته، حسین؛ بستانی املشی، یاسر (۱۳۸۹). روشی جدید به‌منظور خوشه‌بندی داده‌های سرعت باد در نیروگاه‌های بادی با استفاده از الگوریتم‌های FCM و PSO، نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران، شماره ۳: ۲۱۴-۲۱۰.

- [۲]. بوچانی، محمدحسن؛ فاضلی، داریوش (۱۳۹۰). چالش‌های زیست‌محیطی و پیامدهای ناشی از آن، ریزگردها و پیامدهای آن در غرب کشور ایران، فصلنامه ره‌نامه سیاست‌گذاری، سال دوم، شماره ۳: ۱۴۵-۱۲۵.
- [۳]. خالدی، کوهسار (۱۳۹۲). زبان‌های اقتصادی توفان‌های گردوغبار بر استان‌های غربی ایران (مطالعه موردی: ایلام، خوزستان و کرمانشاه)، فصلنامه مدل‌سازی اقتصادی، سال هفتم، شماره ۳: ۱۲۵-۱۰۵.
- [۴]. خسروی، محمود؛ محمد، سلیقه؛ افراخته، حسن (۱۳۸۴). اثرات اکولوژیکی و زیست‌محیطی بادهای ۱۲۰ روزه در سیستان، طرح پژوهشی سازمان حفاظت محیط زیست استان سیستان و بلوچستان: ۲۲۵-۱.
- [۵]. ذوالفقاری، حسن؛ عابدزاده، حیدر (۱۳۸۴). تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گردوغبار در غرب ایران، مجله جغرافیا و توسعه: ۱۸۸-۱۷۳.
- [۶]. علیجانی، بهلول (۱۳۸۳). آب‌وهوای ایران، انتشارات پیام نور: ۲۲-۱.
- [۷]. فرج زاده، منوچهر، رازی، مهین (۱۳۹۰). بررسی توزیع زمانی و مکانی توفان‌ها و بادهای شدید در ایران، مجله پژوهش‌های آبخیزداری، شماره ۹۱: ۳۲-۲۱.
- [۸]. مومنی، منصور (۱۳۹۰). خوشه‌بندی داده‌ها (تحلیل خوشه‌ای)، نشر مؤلف، چاپ اول: ۳۰۴-۱.
- [۹]. مقیمی، ابراهیم (۱۳۹۳). دانش مخاطرات (برای زندگی با کیفیت بهتر و محیط پایدارتر)، انتشارات دانشگاه تهران: ۲۴۲-۱.
- [10]. Bezdek, J. C., (1981), Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms, Plenum Press, New York, pp 1-256.
- [11]. Darwin, C., (1846), an account of the fine dust which often falls on vessels in the Atlantic Ocean, Q J GeolSoc 2:26-30.
- [12]. Dodangeh, E., Shao, Y., and Daghestani, M. (2012), L-Moments and fuzzy cluster analysis of dust storm frequencies in Iran, Aeolian Research (5), and pp 91-99.
- [13]. Dunn, J. C., (1974), A Fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting compact, well-separated clusters. J. Cybernetics 3 (3), pp 32-57.
- [14]. Gao, T.; Han, J.; Wang, Y.; Pei, H., and Lu, Sh., (2011), Impacts of climate abnormality on remarkable dust storm increase of the Hunshdak Sandy Lands in northern China during 2001-2008, Meteorological Applications, pp 265-278.
- [15]. Goudie, A. S., and Middleton, N. J., (2006), Desert Dust in the Global System, Springer, pp 1-287.

-
- [16]. McTainsh, GH. and Pitblado JR., (1987), Dust storm and related phenomena measured from meteorological record in Australia, *Earth Surf Process Landforms* 12:415-424.
- [17]. Orlovsky, L. Orlovsky, N. and Durdyev, A. (2005), Dust storms in Turkmenistan, *Journal of Arid Environments*, (60), pp 83– 97.
- [18]. Rao, A. R., and Srinivas, V. V., (2006), Regionalization of watersheds by fuzzy cluster analysis, *Journal of Hydrology*, 318: (1–4), pp 57–79.
- [19]. Richthofen, F. v., (1882), On the mode of origin of the loess, *Geol Mag* 9:293–305
- [20]. Wang Tianming, L. A., Shichang, K., Pang Deqian, L. A., (2009), On The Relationship between Global Warming and Dust Storm Variation in China, *International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*, pp 59-62.
- [21]. Waldhauserova, P. D; Arnalds, O; Olafsson, H; (2013), Long-term frequency and characteristics of dust storm events in Northeast Iceland (1949–2011), *Atmospheric Environment*, Volume 77, Pages 117–127.