

## کاربست نرم افزار *Digital Atmosphere 2000* در تحلیل فضایی پدیده‌های اقلیمی ایران

دکتر علی محمد خورشید دوست

دانشیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز

یوسف قویدل رحیمی

دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه اصفهان

### چکیده

پدیده‌هایی چون توفان‌های رعد و برقی و گرد و غباری، روزهای توام با مه، روزهای برفی، روزهای بارانی و روزهای توام با باران‌های یخ‌زده دارای اهمیت بسیار زیادی در کشاورزی، بهداشت، حمل و نقل، محیط زیست و غیره هستند و بخش وسیعی از تحقیقات علوم آب و هواشناسی دنیا را به خود اختصاص داده‌اند. در این مقاله قابلیت‌های نرم افزار «دیجیتال اتمسفر ۲۰۰۰» در تحلیل فضایی برخی پدیده‌های خاص اقلیم ایران نشان داده شده است. نتایج این مطالعه نشانگر تغییراتی در نحوه توزیع زمانی - مکانی پدیده‌های مورد مطالعه در سطح ایران می باشد. در بین پدیده‌های اقلیمی مورد مطالعه در این مقاله به جرأت می توان اذعان نمود که مهم ترین پدیده، توفان تندری و بیشترین مقدار تغییرات فضایی در نحوه توزیع توفان‌های غبار و ماسه‌ای قابل مشاهده بوده است.

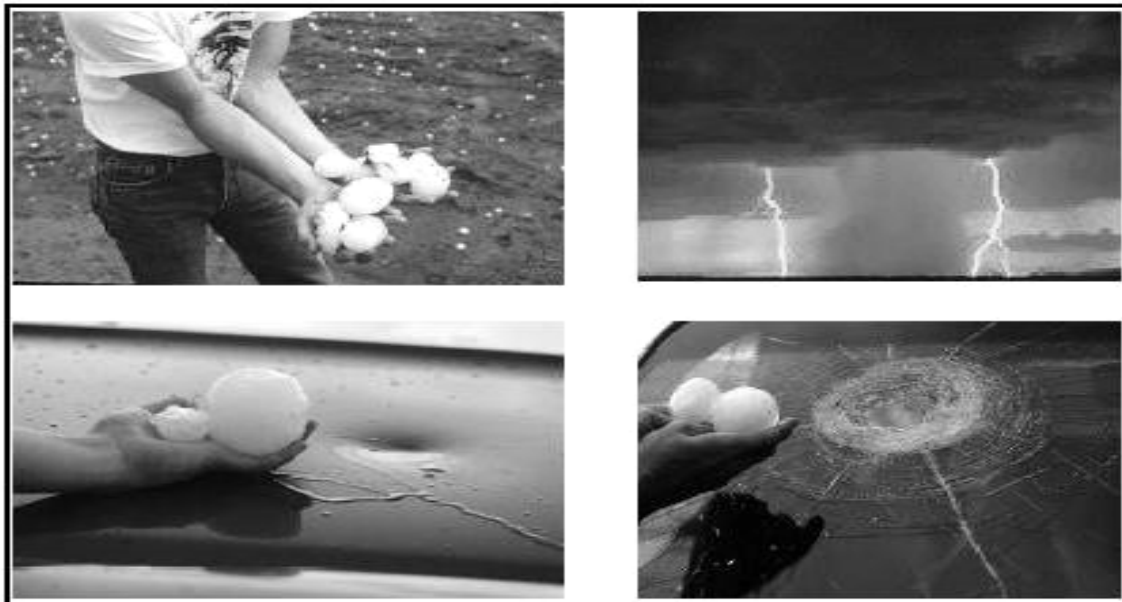
واژگان کلیدی: نرم افزار «دیجیتال اتمسفر ۲۰۰۰»، توفان رعد و برق، توفان ماسه و غبار، روزهای بارانی، روزهای برفی، آب و هوای ایران.

## مقدمه

روند تخصص‌گرایی شدید در علوم مختلف موجب تولید نرم‌افزارهای تخصصی در زمینه‌های علمی متنوع و برای کاربردهای مختلف شده است. مروری بر نرم‌افزارهای موجود در زمینه اقلیم‌شناسی و رشته‌های مشابه آن مانند هواشناسی نمایانگر وجود تعداد انگشت شماری از نرم‌افزارهای تخصصی در زمینه‌های یاد شده به‌ویژه در زمینه اقلیم‌شناسی سینوپتیک می‌باشد و محققان اقلیم‌شناسی عمدتاً به منظور تجزیه و تحلیل‌های سینوپتیک به روش‌های سنتی که اغلب دستی، کم‌دقت، وقت‌گیر و هزینه‌بر هستند، متوسل می‌شدند. مسایل فوق در کنار نیاز روز افزون آب و هواشناسان به تجزیه و تحلیل داده‌های منابع مختلف (مانند ایستگاه‌های زمینی، ماهواره‌ها، رادارها و غیره) جهت آماده‌سازی برای مقاصد کاربردی نیازمند به کارگیری رایانه و برنامه‌های رایانه‌ای بوده‌اند که این امر به، پیدایش نرم‌افزارهای تخصصی اقلیم‌شناسی در سال‌های اخیر منجر شده است. نرم‌افزار «دیجیتال اتمسفر ۲۰۰۰» یکی از نرم‌افزارهای تخصصی است که در برگزیده روش‌های رایانه‌ای پیشرفته اقلیم‌شناسی (خصوصاً اقلیم‌شناسی سینوپتیک) با توانایی‌های دقیق کارتوگرافیکی است. با استفاده از این نرم‌افزار بعضی پدیده‌های خاص و مهم اقلیم ایران که جرح و تعدیل آن‌ها تا چندی پیش به علت فقدان نرم‌افزارهای مناسب و پیشرفته غیر ممکن یا بسیار دشوار بود، به تصویر کشیده شده است.

بخش وسیعی از تحقیقات اقلیم‌شناختی دنیا به مطالعه پدیده‌هایی چون توفان‌های رعد و برقی و گرد و غباری، روزهای توام با مه، روزهای برفی، روزهای بارانی و روزهای توام با باران‌های یخ‌زده که دارای اهمیت بسیار زیادی در کشاورزی، بهداشت، حمل و نقل، محیط زیست هستند، اختصاص یافته است. از منابع پایه در این زمینه می‌توان از کتاب «هواشناسی کوهستان» که در آن با روش‌های تحلیل‌های کمی سینوپتیک و پیوند از دور، پدیده‌های اقلیمی مناطق کوهستانی به ویژه توفان‌های تندری، تگرگ، توفان برفی (کولاک) و دیگر پدیده‌های نواحی مرتفع بیان شده است. اهمیت تحقیق یاد شده در مدل‌سازی پدیده‌های اقلیمی مناطق کوهستانی باعث شده که این کتاب توسط سازمان هواشناسی جهانی به صورت یک دستورالعمل استاندارد در سطح بین‌المللی، معرفی گردد (Whitman, 2003, p59). توفان‌های تندری از مهم‌ترین، فراوان‌ترین و شدیدترین بلایای اقلیمی هستند که هر ساله علاوه بر نابود کردن مقدار زیادی از محصولات کشاورزی و تاسیسات عمرانی، موجب تلفات انسانی تلفات جانی توفان، سیلاب، صاعقه‌زدگی و غیره) بسیاری در اقصی نقاط کره زمین می‌شوند. در این زمینه تنها در بین سال‌های ۱۹۵۳ تا ۱۹۵۷ در آمریکا خسارت‌های مالی ناشی از توفان تندری بالغ بر ۶/۳ بیلیون دلار برآورد شده است. نتایج این تحقیق در خصوص صدمات جانی تگرگ‌های ناشی از توفان‌های تندری در آمریکا نشان می‌دهد که تنها در سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۰، ۱۲۴ نفر کشته و ۱۶۵۸ نفر مصدوم ناشی از تگرگ تندری در ایالات مختلف آمریکا به ثبت رسیده‌اند (Changnon, 2001, p1935). مطالعه‌ای در آمریکا نشان می‌دهد که صاعقه‌های ناشی از توفان‌های تندری مهم‌ترین عامل طبیعی آتش‌سوزی‌های جنگل‌ها و مراتع آمریکا است. در مطالعه یاد شده با توجه به خصوصیات توزیع زمانی و مکانی آذرخش‌ها، ایالات متحده آمریکا از نظر خطر آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع به روش سوییسی (منطقه‌بندی بر اساس سه رنگ قرمز (خطرناک)، زرد (متوسط)، سفید یا بی‌خطر) پهنه‌بندی شده است (Geshunov and etal, 2003, p601). با استفاده از تصاویر ماهواره‌اندست محدوده متاثر از توفان‌های تندری تعیین و با استفاده از تصاویر باندهای مختلف سنجنده‌های ماهواره‌اندست صدمات ناشی از توفان‌ها نقشه‌کشی شده است (Bentley and etal, 2002, p371). اقلیم‌شناسان علت صدمات فراوان توفان‌های تندری آمریکا را در فراوانی وقوع بیشتر آن نسبت به دیگر ممالک و بزرگی و سنگینی تگرگ‌های ناشی از

تندرها به ویژه در شرق آمریکا می‌دانند (Kunkel and etal, 1999, p1081). سنگینی تگرگ‌های مذکور در برخی مواقع بالغ بر ۳۵۰ گرم و قطر آن‌ها تا ۱۲ سانتی متر می‌رسد که چنین تگرگ‌هایی واقعاً مرگبار هستند (شکل ۱).



شکل ۱- اثرات مخرب تگرگ‌های مرگبار ناشی از توفان‌های تندری در آمریکا  
(Changnon, 2003, p1233)

Easterling, 1989, p570 در تحقیق خود بر اساس منشاء، مورفولوژی و میزان بارشی که هر سیستم رعد و برقی می‌تواند نازل کند، اقدام به پهنه‌بندی مناطق مختلف آمریکا نموده و ۵ منطقه مجزا را از حیث ویژگی‌هایی که برای توفان‌های رعد و برقی برشمرده بود، تشخیص و نقشه آن را ترسیم نمود. روش استرلینگ از مقبولیت خاصی در بین اقلیم‌شناسان برخوردار است و امروزه پس از گذشت ۱۵ سال، روش مذکور از معتبرترین روش‌های پهنه‌بندی فضایی توفان‌های تندری محسوب می‌شود. استرلینگ در مطالعه‌ای دیگر از توفان‌های رعد و برقی، گرد و غباری و ماسه‌ای به عنوان پدیده‌های مسئله‌ساز آمریکا یاد کرده و پیامدهای محیطی و اقتصادی ناشی از توفان‌های رعد و برقی (از جمله تگرگ، باد شدید) و توفان‌های ماسه و غبار (مانند تصادف‌های ناشی از کاهش محدوده دید، بیابان‌زایی و گسترش وسعت نواحی بیابانی مدفون شدن خطوط راه آهن و مسایل بهداشتی) را بر اقتصاد و رفاه قشر متوسط جامعه آمریکا به‌ویژه کشاورزان، خانمان سوز قلمداد کرده است (Easterling, 2003, p8).

عمده اطلاعات ما در مورد پدیده‌های اقلیمی مورد بحث در این مقاله مربوط به کار پایه علیجانی (۱۳۷۸) در کتاب «آب و هوای ایران» است. کار وی به عنوان تنها مطالعه انجام گرفته در ایران بسیار با ارزش و قابل استناد است. به عقیده محققین خشکسالی‌های سال‌های اخیر و جت‌های سطوح پایین جوی عامل اصلی تفوق و کثرت توفان‌های ماسه‌ای و گرد و غباری در جنوب شرقی ایران است (Liu and etal, 2000, p1218). اخیراً در مطالعه‌ای با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شبکه عصبی اقدام به تعیین ویژگی‌ها و اثرات توفان‌های

تندری مناطق جنوب و جنوب غرب ایران شده و محدوده مورد مطالعه را از حیث خطر نسبی توفان تندری و پدیده‌های ناشی از آن با تأکید بر خطراتی که کشاورزی و دامپروری را تهدید می‌کند، به سه منطقه پهنه‌بندی شده است (Gheiby and etal, 2003, p331). قویدل رحیمی و خوشحال دستجردی (۱۳۸۶، ص ۷) نقش الگوهای پیوند از دور کره زمین را در وقوع توفان‌های تندری در تبریز به عنوان ایستگاه منتخب منطقه شمال غرب ایران مورد بررسی قرار داده و همبستگی معنی داری بین وقوع توفان‌های تندری تبریز و پدیده ال نینو- شاخص نوسان جنوبی ( بر اساس سنج‌های دمای سطح آب ) ، نوسانات دهه‌ای آرام، متوسط جهانی دمای خشکی‌ها و اقیانوس‌های کره زمین، شاخص مداری اقیانوس اطلس جنوبی و همچنین لکه‌های خورشیدی پیدا نموده است.

این مطالعه کوششی برای معرفی نرم‌افزار «دیجیتال اتمسفر ۲۰۰۰» و کاربرد آن در تحلیل فضایی برخی پدیده‌های اقلیمی ایران که تا به امروز چندان مورد عنایت نبوده‌اند، است.

## داده‌ها و روش‌ها

منبع داده‌های مورد استفاده در این مطالعه، آرشیو داده‌های اقلیمی نرم‌افزار «دیجیتال اتمسفر ۲۰۰۰» که از طریق اطلاعات و داده‌های ارسالی از ایستگاه‌های سینوپتیک (دارای کد بین المللی) کل مناطق جهان به سازمان جهانی هواشناسی و ماهواره‌های مختلف هواشناسی از جمله ماهواره NOAA تامین و در ترسیم نقشه‌های مختلف (روش کریگینگ عام، روش ترسیمی اصلی نرم‌افزار در این مطالعه است) و تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

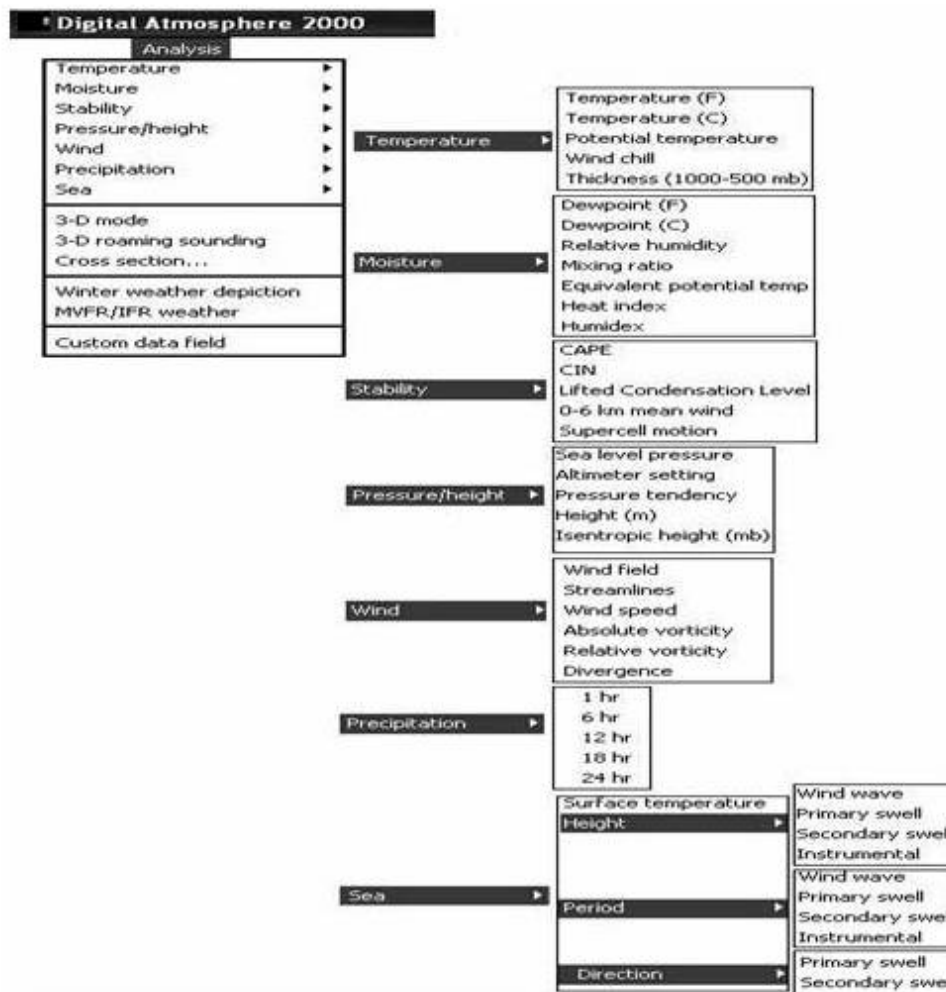
نرم‌افزار *Data Tester* به عنوان فیلتر، داده‌ها را از نظر کیفی (آزمون  $T$ ، آزمون  $F$  و آزمون  $Run$ ) کنترل (کنترل کیفی داده‌ها مقوله‌ای آغازین و قبل از شروع تحقیق بوده و نتایج آن که مشتمل بر چندین صفحه است، برای درج در این قسمت ضرورتی ندارد) و پس از کسب اطمینان از صحت آن‌ها، در آرشیو نرم‌افزار «دیجیتال اتمسفر ۲۰۰۰» ذخیره می‌کند. روش اصلی مورد استفاده در این پژوهش تحلیل و ترسیم نقشه‌های توزیع فضایی پدیده‌هایی مانند توفان‌های تندری و گرد و غباری، روزهای توام با برف و باران در طول سال و سری زمانبده‌های مورد استفاده به مدت ۱۶ سال (از ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۱) است. ترسیم نقشه‌های مورد استفاده در این پژوهش براساس میانگین بلند مدت وقوع پدیده‌های مورد مطالعه، فراوانی وقوع سالانه در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک کشور در طول دوره آماری انجام گرفته است.

## آشنایی مختصر با نرم‌افزار «دیجیتال اتمسفر ۲۰۰۰»

نرم‌افزار «دیجیتال اتمسفر ۲۰۰۰» محصول شرکت «Weather Graphics Technologies» (از شرکت‌های وابسته به ناسا) است. نرم‌افزار یاد شده اولین نسخه از نرم‌افزاری است که برای اولین بار در سال ۲۰۰۰ به بازار آمده است. نرم‌افزار یاد شده دارای قابلیت‌های بالایی است و در حال حاضر تنها نرم‌افزار تخصصی در زمینه مطالعه جو و اقلیم‌شناسی است که توانسته کاربردی فراگیر در مطالعات علوم اقلیمی داشته باشد. نرم‌افزار «دیجیتال اتمسفر ۲۰۰۰» در مقایسه با نرم‌افزارهای دیگر به ویژه GRADS دارای قابلیت‌ها و منوهای زیادی است که ما فقط به معرفی دو منوی اصلی آن که منوی تحلیل و به ویژه منوی بسیار مهم، پیشرفته و کاربردی آب و هواشناسی است، اکتفا خواهیم کرد (معرفی کامل نرم‌افزار و قابلیت‌های آن در یک کتاب مفصل توسط مؤلفان در دست اقدام است).

## منوی تحلیل

در شکل ۲ منوی تحلیل نشان داده شده است. این منو دارای هفت قسمت اصلی دما، رطوبت، پایداری، باد، بارش و تجزیه و تحلیل فشار از سطح دریا و شش بخش دیگر (از جمله مدل‌های سه بعدی) است. هر یک از هفت قسمت اصلی منوی تحلیل نیز دارای بخش‌های فرعی می‌باشند.

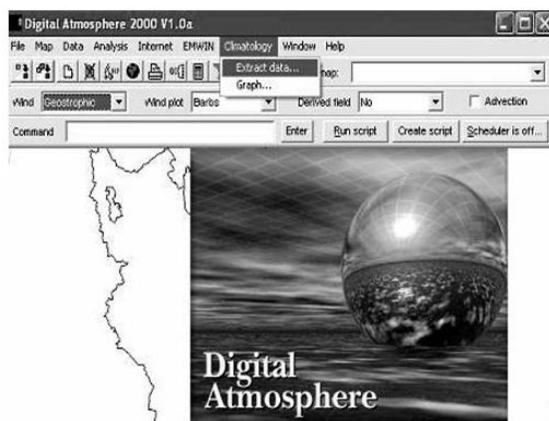


شکل ۲- بخش‌های مختلف منوی اصلی تحلیل

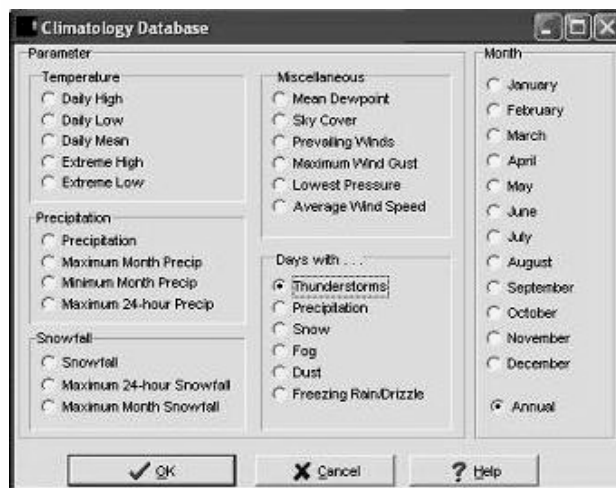
## منوی آب و هواشناسی

منوی آب و هواشناسی که در شکل ۳ نشان داده شده، دارای دو بخش کسب داده‌ها (که کاربردی‌ترین و مهم‌ترین قسمت نرم‌افزار) و بخش نمودار برای نمودارهای اقلیمی مختلف می‌باشد. بخش اخذ داده‌ها که ترسیم نقشه را هم به عهده دارد، دارای شش قسمت به نام‌های: دما، بارش، برف، گوناگون، توزیع پدیده‌ها در طول روزهای سال و نهایتاً بخش زمان که در برگزیده ماه‌های سال و مقطع زمانی سالانه برای بررسی توزیع زمانی پدیده‌های شش گانه (هر یک از ۶ قسمت خود دارای بخش‌های مجزایی نیز هستند) می‌باشند که در شکل ۴ نشان داده شده‌اند.

در این مطالعه پدیده‌هایی که دارای توزیع مکانی- زمانی در طول روزهای سال هستند با استفاده از بخش پدیده‌های گوناگون (در شکل ۴ این بخش تحت عنوان «روزهای توأم با» درج شده است) و زیر بخش‌های آن که در برگیرنده پدیده‌های توفان‌های تندری و گرد و غباری، روزهای توأم با مه، برف، باران و باران‌های یخ‌زده (به صورت توزیع فراوانی وقوع روزانه در طول سال) در پهنه ایران مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داده شده است.



شکل ۳- دو بخش مختلف منوی اصلی آب و هواشناسی



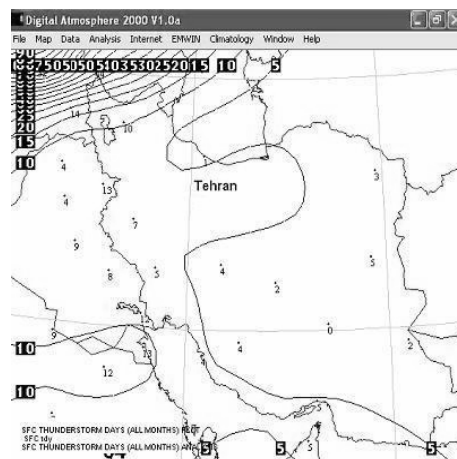
شکل ۴- بخش‌های شش گانه و زیر بخش‌های بخش اخذ داده و ترسیم نقشه در منوی آب و هواشناسی

### توزیع فضایی پدیده‌های اقلیمی توفان‌های رعد و برق

بر اساس تعریف یک توفان تندری ماشین ترمودینامیکی است که در آن انرژی پتانسیل از گرمای نهان حاصل از تراکم در شرایط رطوبتی یا ناپایداری حاصل به جابه‌جایی قائم هوا تبدیل می‌گردد (جعفرپور، ۱۳۸۱، ص ۱۲۷). خصوصیات بارز یک توفان تندری مانند باد شدید، تگرگ، رعد و برق و بارش‌های سنگین و

سیل آسا ناشی از تشکیل یک سلول همرفتی بزرگ در اتمسفر است. نتیجه قابل رویت این سلول، تنوره‌ای از ابرهای کومولونیمبوس است که در ابتدا از یک ابر کومولوس شروع شده و به سرعت صعود نموده و تبدیل به ابر کومولونیمبوس می‌گردد (علیزاده و همکاران، ۱۳۷۹، ص ۱۴۵). تندرهای معمولاً یا بر اثر گرم شدن زیاد سطح زمین در داخل توده‌های هوایی و یا در جبهه‌های هوا، به‌ویژه در جبهه سرد، به وجود می‌آیند و بر این اساس، تندرهای ناشی از توده هوا هستند یا منشاء جبهه‌ای دارند (Newton, 2003, p81). شدت بارش، رعد و برق و حرکت نزولی هوا در مرحله بلوغ توفان تندی به بیشترین مقدار خود می‌رسد (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۲، ص ۳۱۱).

کار علیجانی به عنوان اولین مطالعه انجام گرفته در ایران با ارزش و قابل استناد است. در شکل ۵ توزیع فضایی روزهای توأم با توفان تندی (به صورت میانگین بلندمدت فراوانی روزانه در طول سال)، ارایه شده است.



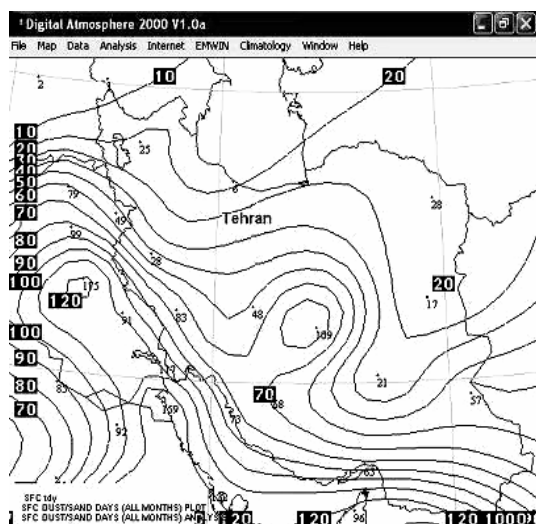
شکل ۵- توزیع فضایی روزهای توأم با توفان‌های تندی (میانگین بلند مدت روز در سال) در ایران

با توجه به شکل ۵ مشخص می‌شود که بیشترین توزیع فضایی توفان‌های تندی ناحیه شمال غرب ایران در آذربایجان است که در خود آن ناحیه نیز با افزایش عرض جغرافیایی بر فراوانی وقوع توفان‌های تندی افزوده شده و در منطقه مرزی ماکو و بازرگان به حداکثر می‌رسد. هسته بیشینه وقوع توفان‌های تندی که بخشی از آن تا غرب و شمال غرب ایران امتداد یافته است در قسمت شمال ترکیه و بر بالای دریای سیاه قرار دارد که تا ۱۳۰ روز در سال شاهد وقوع توفان‌های تندی است. پس از منطقه شمال غرب، منطقه غرب ایران دارای بیشترین فراوانی وقوع توفان‌های تندی است. از نظر توزیع فراوانی ماهانه، حداکثر وقوع توفان‌های تندی در ماه اردیبهشت (می) اتفاق می‌افتد. در این موقع سال که اکثر درختان در موسم گل‌دهی خود هستند، توفان‌های تندی خسارت‌های قابل توجهی به باغات و محصولات سر درختی وارد می‌سازند.

توفان‌های گرد و غباری و ماسه‌ای

بادهای شدید تحت نام توفان نام‌گذاری شده‌اند که به اشکال مختلف و با سرعت‌های زیاد برای مدتی کوتاه می‌وزند و غالباً با هوای ناپایدار و جو باروکلینیک توأم هستند. اگر حالت ناپایداری هوا یا جو باروکلینیک با رطوبت در آمیخته باشد، توفان رعد و برق و اگر خشک باشد توفان گرد و غبار به وجود می‌آید (Doswell, 2005, p43). نکته جالب توجهی که علیجانی در مورد توزیع فضایی توفان‌های گرد و غباری عنوان کرده، حالت توزیع معکوس توفان‌های گرد و غباری با توفان‌های تندی است. وی خاطر نشان می‌کند

که برخلاف توفان‌های تندری که بیشترین فراوانی وقوع را در منطقه غرب و شمال غرب دارند، فراوان‌ترین روزهای توأم با پدیده توفان‌های گرد و غباری در شرق و شمال شرق ایران مشاهده می‌شود. با توجه به توزیع توفان‌های گرد و غباری (شکل ۶) می‌توان یافته‌های علیجانی را با اندکی تغییرات پذیرفت. تغییر به وجود آمده در جابه‌جایی جغرافیایی مرکز یا منطقه بیشینه توفان‌های گرد و غباری از شرق و شمال شرق به داخل (ایران مرکزی) و جنوب غرب ایران (استان خوزستان) قابل مشاهده است که این امر شاید به دلیل استفاده از داده‌های کوتاه مدت این مطالعه (دوره آماری ۱۶ ساله) نسبت به دوره آماری بلند مدت تر علیجانی یا فزونی یافتن وقوع توفان‌های گرد و غباری و ماسه‌ای منطقه مرکزی و جنوب غربی ایران نسبت به منطقه شرق و شمال شرق باشد. از نظر توزیع فراوانی ماهانه روزهای توأم با توفان‌های گرد و غبار و ماسه نیز بیشترین فراوانی در مرداد (اوت) ماه و کم‌ترین فراوانی در اسفند (مارس) ماه ثبت شده است. در شکل ۶ توزیع فضایی فراوانی روزهای توأم با توفان‌های گرد و غبار و ماسه که به صورت متوسط بلند مدت (۱۶ ساله) استخراج و در ترسیم نقشه مورد استفاده قرار گرفته، قابل مشاهده است.

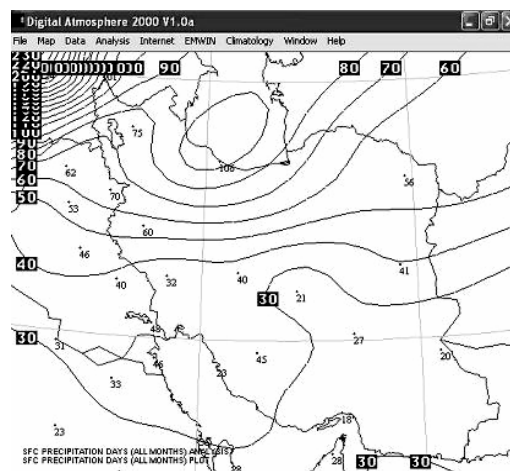


شکل ۶- توزیع فضایی فراوانی روزهای توأم با توفان‌های غبار و ماسه (میانگین بلند مدت روز در سال) در ایران

## روزهای بارانی

روز بارانی به روزی گفته می‌شود که بارش آن روز یک میلی‌متر یا بیشتر باشد (Krishnan, 2004, p192). مطالعات مربوط به روزهای توأم با بارش در ایران مدیون پژوهش‌های علیجانی می‌باشد. از دو مطالعه علیجانی و همچنین شکل ۷ که نقشه توزیع فضایی روزهای بارانی را در پهنه جغرافیایی ایران نشان می‌دهد، می‌توان چنین نتیجه گرفت که بیشترین روزهای بارش ایران در سواحل دریای خزر به ویژه سواحل جنوب غربی (بندر انزلی) اتفاق می‌افتد و بر عکس کم‌ترین روزهای توأم با بارش در منتهی‌الیه جنوب شرقی کشور (سیستان و بلوچستان) به وقوع می‌پیوندد که در ناحیه مذکور فراوانی وقوع روزهای بارش در برخی مواقع تا تا ۱۰ روز نیز کاهش پیدا می‌کند. همانند مقدار بارش، توزیع روزهای بارندگی نیز از شمال به جنوب، از غرب به شرق و از مناطق کوهستانی به مناطق پست‌تر کاهش می‌یابد.



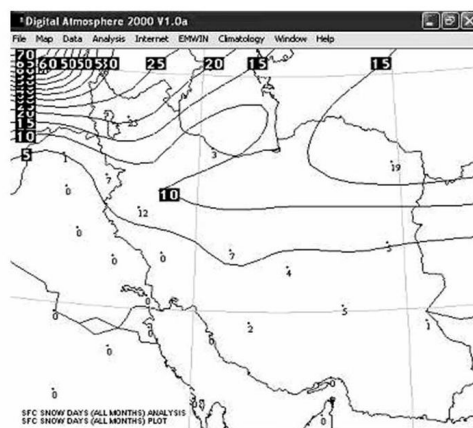


شکل ۷- توزیع فضایی روزهای توأم با بارش (میانگین بلند مدت روز در سال) در ایران

نتایج حاصل از این مطالعه در خصوص روزهای بارش ایران یافته‌های علیجانی را تایید می‌کند. این امر بدان معنی است که علی‌رغم تفاوت دوره آماری این مطالعه نسبت به دوره مطالعاتی علیجانی، از نظر توزیع فضایی فراوانی روزهای توأم با بارش در ایران تغییر قابل توجهی حاصل نشده است.

### روزهای برفی

با توجه به شکل ۸ که توزیع فضایی روزهای توأم با بارش برف را در ایران نشان می‌دهد، متوجه تطابق کامل آن با توزیع روزهای توأم با توفان‌های تندی می‌شویم که هر دو کاملاً منطبق بر مسیر ورود توده هوای سرد و مناطق کوهستانی ایران هستند. عدم تغییر فضایی در توزیع روزهای برفی ایران زمین از یافته‌های این پژوهش است. بیشترین روزهای برفی ایران در منطقه آذربایجان (در ماه‌های آذر (دسامبر) تا بهمن (فوریه) و گاه تا آوریل یا همان فروردین ماه) و در محدوده زنجان، تبریز، ارومیه و اردبیل مشاهده می‌گردد که محدوده ماکو و بازرگان دارای بیشترین روزهای برفی می‌باشند. علیجانی بر آن است که دنباله منطقه بیشینه آذربایجان به طرف جنوب شرقی در امتداد محور زاگرس تا کوه دنا گسترده شده است. در استان خراسان نیز محدوده برف گیر تا دامنه جنوبی ارتفاعات تربت حیدریه و کاشمر کشیده شده است. در سایر نقاط ایران به‌ویژه منطقه



شکل ۸- توزیع مکانی روزهای توأم با بارش برف (میانگین بلند مدت روز در سال) در ایران

جنوب شرقی یا روزهای برفی وجود ندارند و یا بسیار کم هستند. در سواحل خزر نیز به علت تاثیرات اعتدال آفرین آب دریای خزر، تعداد روزهای برفی بسیار اندک می‌باشد (علیچانی، ۱۳۷۸، ص ۸۹).

### بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌ها و نتایج این مطالعه که با استفاده از نرم‌افزار «دیجیتال اتمسفر ۲۰۰۰» به دست آمده، تغییرات فضایی در نحوه و مقدار توزیع پدیده‌های مورد مطالعه را به تصویر کشیده که بیشترین مقدار تغییرات فضایی در نحوه توزیع توفان‌های غبار و ماسه‌ای قابل مشاهده است. با توجه به این که اکثر ایستگاه‌های ایران در ۱۶ سال گذشته تبدیل به ایستگاه‌های سینوپتیک شده‌اند و با در نظر گرفتن طول دوره آماری این مطالعه که ۱۶ سال است، می‌توان از حیث دقیق بودن و در نتیجه صحت نتایج حاصله نسبت به مطالعات قبلی، از اطمینان بیشتری در برنامه ریزی‌ها استفاده نمود. در کنار دقت داده‌های مورد استفاده و نتایج حاصل از این پژوهش نسبت به داده‌های مطالعات قبلی می‌توان استفاده از نرم‌افزار «دیجیتال اتمسفر ۲۰۰۰» را نیز به عنوان دیگر مزیت این پژوهش و در نتیجه دقیق بودن و صحت نتایج حاصل از آن ذکر کرد. در بین پدیده‌های اقلیمی مورد مطالعه، توفان تندری مهم‌ترین پدیده است. اهمیت کاربردی مطالعه توفان‌های تندری در مواجهه بهتر با آثار مخرب ناشی از آن‌ها به‌ویژه تگرگ، بارش سنگین منجر به سیل یا آب بردگی، بادهای شدید و رعد و برق (آذرخش) است. با در نظر گرفتن این نکته که فصل بروز توفان‌های تندری اغلب بهار و ماه اردیبهشت (می) می‌باشد و در این فصل درختان در مرحله گل‌دهی و محصولات زراعی در حال رشد و نمو هستند، می‌توان میزان زیان بار بودن پدیده‌هایی چون تگرگ یا باد شدید را در نظر گرفت. این امر یعنی خسارت‌های ناشی از توفان‌های رعد و برق دار یکی از مهم‌ترین مسایل به‌ویژه در بخش‌های کشاورزی (زراعت، دامداری و جنگل‌داری)، حمل و نقل و صنعت بیمه است.

نرم‌افزار «دیجیتال اتمسفر ۲۰۰۰» می‌تواند کارایی‌های زیادی برای اقلیم‌شناسان داشته باشد. اقلیم‌شناسان آلمانی در کنار استفاده از نرم‌افزار یاد شده و مشاوره با متخصصین کشاورزی و شیمی توانسته‌اند در ۶۰ درصد مواقعی که امکان بروز توفان‌های تندری و مسایل ناشی از تگرگ وجود داشته، با تزریق ید، نقره و حتی یخ خشک ابرهای کومولونیمبوسی را پیش از رسیدن به محدوده باغ‌ها یا مزارع، بر حسب مورد، عقیم یا بارور کرده و از ریزش تگرگ جلوگیری نمایند (Kessler, 2003, p171). هر چند این کار با موفقیت چشمگیری مواجه شده، اما در مقیاس وسیع امتحان نشده و بر این اساس عموماً ترجیح داده می‌شود که یا از گونه‌های زراعی یا باغی مقاوم‌تر به تگرگ (و سایر پدیده‌های اقلیمی مضر) استفاده شود و یا مزارع و باغات در برابر پدیده‌های مضر اقلیمی بیمه گردد. بیمه محصولات کشاورزی در برابر خطرات اقلیمی، صنعت بیمه را نیز به اقلیم‌شناسی علاقه‌مند ساخته و آگاهان آن‌ها نیز در پی دستیابی به روش‌ها یا نرم‌افزارهایی هستند که بتواند اطلاعات دقیقی از نحوه پراکنش سوانح مرتبط با اقلیم را در سطحی وسیع و در اسرع وقت در اختیار آنان قرار دهد.

## منابع

- ۱- جعفرپور، ابراهیم، ۱۳۸۲، «اقلیم‌شناسی»، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲- علیجانی، بهلول، ۱۳۷۸، «آب و هوای ایران»، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- ۳- علیجانی، بهلول و محمد رضا کاویانی، ۱۳۷۲، «مبانی آب و هواشناسی»، انتشارات سمت.
- ۴- علیزاده، امین و همکاران، ۱۳۷۹، «هوا و اقلیم‌شناسی»، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۵- قویدل رحیمی، یوسف و جواد خوشحال دستجردی، ۱۳۸۶، «شناسایی ویژگی‌های سوانح محیطی منطقه شمال غرب ایران (نمونه مطالعاتی: خطر توفان‌های تندری در تبریز)»، پذیرفته شده در مجله علوم انسانی مدرس.
- 6- Bentley.M; T.Mote; P.Thebpany, 2002: Using Land Sat to identify thunderstorm damage in agricultural regions. BAMS, 83(3): 363-376.
- 7- Changnon, S, 2001: Damaging Thunderstorm Activity in the United States. BAMS, 82(4): 597-308.
- 8- Changnon, S, 2003: Measures of economic impacts of weather extremes. BAMS, 84(9): 1231-1235.
- 9- Doswell, C, 2005: Severe thunderstorm evolution and mesocyclone structure as related to tornadogenesis. Meteorol. Appl. 12: 39-51.
- 10- Easterling, R, 1989: Regionalization of thunderstorm rainfall in the contiguous U.S.A. International Journal of Climatology, 9. 579-567.
- 11- Easterling, R, 2003: Trends in U.S. climate during the twentieth century, Consequences, 2: 3-12.
- 12- Geshunove, A; L, Westerling; T, Brown, 2003: Climate and wildfire in the Western United States. BAMS, 84(5): 595-604.
- 13- Gheiby,A; D, M, Puranik; N, Karekar, 2003: Thunderstorm identification from AMSU-B data using an artificial neural network. Meteorol. Appl. 10: 329-336.
- 14- Kessler, E, 2003: Thunderstorm Rainfall. U.S. Weather Bureau, Waterway Experiment Station, Vicksburg, MS, 331 pp.
- 15- Krishnan, R, 2004: Foundations of meteorology, Surjeect Publications, New Delhi, 405pp.
- 16- Kunkel, K; R. Pielke; S, Changnon, 1999: Temporal fluctuations in weather and climate extremes that cause economic and human health impacts: A review. BAMS, 80, 1077-1098.
- 17- Liu, M; D, Westphal; T, Holt, 2000: Numerical study of a low-level jet over complex terrain in southern Iran, Mon. Wea. Rev, 128: 1309-1327.
- 18- Newton, W, 2003: Thunderstorms in the synoptic setting. Thunderstorm Morphology and Dynamics, Vol. 2, Thunderstorms: A Social, Scientific, and Technological Documentary, Environmental Research Laboratory, NOAA, Washington, DC, 75-113.
- 19- Vasquez, T, 2004: Digital atmosphere user manual, [http://www. Weather graphics. Com](http://www.weathergraphics.com). Austin, USA.
- 20- Whitman. C. D, 2003: Mountain Meteorology. Oxford University Press, 353 pp.