توفان‌های گردوخاک غرب و جنوب غرب کشور
علل، منشأ، کانون‌ها و پیش‌بینی وضعیت آینده

کد موضوعی: ۲۵۰
شماره مسلسل: ۱۵۴۱۶
خردادماه ۱۳۹۶

معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی
دفتر: مطالعات زیربنایی

به‌نام خدا

فهرست مطالب

چکیده ۱
مقدمه ۲
تعریف مسئله و ضرورت گزارش ۳
اهداف گزارش ۴
روش تحقیق ۴
دسته‌بندی مطالب و روش حل مسئله ۴
۱. محدوده جغرافیایی مورد مطالعه ۵
۲. منابع آب سطحی حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب) ۷
۲-۱. روند تغییرات دما و بارش در حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب) ۷
۲-۲. شبکه رودخانه‌ای حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب) ۹
۲-۳. آبدهی رودخانه‌های اصلی حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب) ۱۱
۲-۴. بارش و منابع آب حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان ۱۲
۲-۵. سدهای تأسیس شده در حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب) ۱۶
۲-۶. آثار پروژه گاپ ترکیه بر منابع آب منطقه ۱۷
۳. توفان‌های گردوخاک غرب و جنوب غرب ایران ۱۸
۳-۱. علل تشدید توفان‌های گردوخاک ۲۲
۳-۲. ترکیب شیمیایی گردوخاک‌ها ۲۴
۳-۳. روند شدت توفان‌های گردوخاک در غرب کشور طی بیست سال اخیر ۲۶
۳-۴. کانون‌های خارجی شناسایی شده منشأ تولید گردوخاک ۳۰
۳-۵. کانون‌های داخلی شناسایی شده منشأ تولید گردوخاک در استان خوزستان ۳۱
۳-۶. شرایط تشکیل توفان‌های گردوخاک در استان خوزستان ۳۳
۳-۷. رابطه بین خشکسالی‌ها و توفان‌های گردوخاک در غرب و جنوب غرب کشور ۳۵
۴. چشم‌انداز تغییر اقلیم غرب و جنوب غرب کشور ۴۰
۴-۱. پیش‌بینی اقلیم و وضعیت منابع آب غرب و جنوب غرب کشور طی ۱۵ سال آینده ۴۱
۵. تحلیل کارشناسی ۴۲
جمع‌بندی ۴۶
پیشنهادها ۴۷
منابع و مآخذ ۴۸

توفان‌های گردوخاک غرب و جنوب غرب کشور
علل، منشأ، کانون‌ها و پیش‌بینی وضعیت آینده

چکیده

در سال‌های اخیر فراوانی و شدت توفان‌های گردوخاک در مناطق غرب و جنوب غرب کشور به‌شدت افزایش یافته است و امروزه خسارات ناشی از آنها بر کسی پوشیده نیست. فراوانی این توفان‌ها در سال ۱۳۹۴ نسبت به سال ۱۳۹۱، ۱۰ برابر شده است. بررسی کارشناسی موضوع، ریشه‌یابی و تشخیص کانون‌های منشأ گردوخاک امری لازم و ضروری است. توفان‌های گردوخاک غرب و جنوب غرب کشور عمدتاً در استان خوزستان اتفاق می‌افتند. این قسمت از کشور جزء حوضه آبریز داخلی خلیج فارس و دریای عمان و حوضه آبریز بزرگ و برون‌مرزی اروندرود (شط‌العرب) می‌باشد که بین کشورهای ترکیه، عراق، سوریه، ایران و عربستان مشترک می‌باشد. حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب) که از رودخانه‌های اصلی دجله و فرات تشکیل شده است، در سال‌های اخیر به‌شدت گرم‌تر شده است، به‌طوری‌که متوسط دمای آن در ۱۵ سال اخیر نسبت به متوسط بلندمدت حدود ۱ درجه سانتیگراد افزایش داشته و همچنین بارندگی آن نیز حدود ۲۷ درصد کاهش یافته است. این قسمت از جهان در برابر خشکسالی‌ها و تغییرات اقلیم بسیار آسیب‌پذیر است. از طرفی دیگر، کنترل و مهار آب رودخانه‌های دجله و فرات توسط سدهای مختلف در مسیر این رودخانه‌ها، باعث کاهش شدید آبدهی این رودخانه‌ها شده است. ازجمله این طرح‌ها، طرح گاپ ترکیه است که توسط آن آب رودخانه‌های دجله و فرات در سرشاخه‌ها مهار می‌شود. پیش‌بینی می‌شود که پس از طرح گاپ ترکیه آب ورودی رودخانه‌های دجله و فرات به عراق، به‌ترتیب حدود ۶۶ و ۴۷ درصد کاهش داشته باشد. در حوضه آبریز داخلی خلیج فارس و دریای عمان نیز بارندگی در ۱۰ سال اخیر نسبت به متوسط بلندمدت حدود ۱۸ درصد و به‌تبع آن آبدهی رودخانه‌های کارون، کرخه، جراحی و زهره به‌ترتیب حدود ۴۹، ۵۶، ۵۶ و ۴۱ درصد کاهش داشته است. با توجه به اینکه آب رودخانه‌های دجله، فرات، کارون، کرخه، جراحی و زهره در نهایت تغذیه‌کننده زیست‌بوم‌ها و تالاب‌های پایین‌دست خود هستند، کاهش آبدهی آنها باعث به‌وجود آمدن مناطق خشک در این مناطق شده که در نهایت به برخاستن توفان‌های گردوخاک از این کانون‌ها می‌انجامد. بررسی آمار مربوط به توفان‌های گردوخاک در استان خوزستان نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی این گردوخاک‌ها در برخی موارد شامل فلزات سنگین با مقادیر بسیار بیشتر از حد مجاز می‌باشد، که برای سلامتی انسان‌ها بسیار خطرناک هستند. همچنین آمار بیانگر آن است که در برخی از سال‌ها، براساس شاخص خشکسالی، خشکسالی بسیار شدید در استان خوزستان حاکم بوده و بین خشکسالی‌ها و فراوانی و شدت توفان‌های گردوخاک ارتباط مستقیمی برقرار است. تحقیقات نشان می‌دهد که کانون‌های خارجی منشأ توفان‌های گردوخاک عبارتند از: شمال غرب عراق و شرق سوریه، دو طرف

رودخانه فرات، تالاب‌ها و زمین‌های خشک شده جنوب عراق (بین‌النهرین)، زمین‌های اطراف و شمال دریاچه تارتار در عراق، زمین‌های غرب عراق (استان الانبار) و شرق سوریه (استان حمص) و مناطق مرزی شمال عربستان و شرق اردن. همچنین کانون‌های داخلی منشأ توفان‌های گردوخاک در غرب و جنوب غرب کشور به‌طور عمده در استان خوزستان واقع شده‌اند و اهم آنها عبارتند از: ناحیه جنوب غرب هویزه، ناحیه شمال شرق خرمشهر، ناحیه شرق اهواز، ناحیه جنوب و جنوب شرق اهواز، منطقه بندر امام - امیدیه، منطقه ماهشهر - هندیجان و منطقه شرق هندیجان. اهم نکات مورد توجه در این گزارش را می‌توان به‌شرح زیر بیان کرد:

– می‌توان عامل اصلی توفان‌های گردوخاک غرب و جنوب غرب کشور را با منشأ خارجی، اقدامات کشور ترکیه در مهار آب رودخانه‌های دجله و فرات به‌شمار آورد.

– آمار حاکی از آن است که در سال‌های اخیر سهم توفان‌های گردوخاک غرب و جنوب غرب کشور با منشأ داخلی، قابل توجه شده است و وقوع این توفان‌ها، گاهی اوقات در مواقع غیرقابل انتظار (فصول پرآبی) صورت می‌گیرد که این موضوع نشان‌دهنده مدیریت ناصحیح منابع آب در این مناطق است.

– عامل مهم دیگری که در تشدید توفان‌های گردوخاک نقش مهمی دارد، عامل خشکسالی‌ها و تغییرات اقلیم است که به کاهش منابع آب، افزایش دما، افزایش تبخیر سطحی و در نهایت ظهور کانون‌های منشأ این توفان‌ها می‌گردد.

– در راستای کنترل، تسکین و مهار توفان‌های گردوخاک با منشأ خارجی در مناطق غرب و جنوب غرب کشور باید در کنار پیگیری‌های جدی بین‌المللی ازسوی دستگاه دیپلماسی کشور برنامه‌های مختلف اجتماعی را برای کاهش اثر آنها پیاده کرد.

– برای کنترل، تسکین و مهار کانون‌های داخلی نیز علاوه‌بر تدوین شرح وظایف و ایجاد هماهنگی‌های لازم بین دستگاه‌های مربوط باید به راهکارهای اجرایی جلوگیری از بیابان‌زایی خصوصاً مدیریت جامع منابع آب و تأمین حقابه‌های زیست‌محیطی پایین‌دست، توجه ویژه کرد.

مقدمه

در سال‌های اخیر توفان‌های گردوخاک در اثر تغییرات اقلیم، خشکسالی‌ها، دخالت‌های فزآینده بشری و استفاده غیرمنطقی از منابع طبیعی و تخریب آن، مناطق وسیعی از کشور را تحت تأثیر قرار داده است. توفان‌های گردوخاک معمولاً رویدادهایی طبیعی هستند که در سراسر جهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک اتفاق می‌افتند. مناطق خشک که بیش از یک‌سوم سطح زمین را می‌پوشانند، منبع مهمی از توفان‌های گردوخاک در جهان هستند. از آنجا که ایران با مساحتی حدود ۱/۶۵ میلیون کیلومترمربع در

جنوب غرب آسیا و در نوار خشک جهان واقع شده است، فلات مرکزی آن به‌عنوان یکی از معروف‌ترین مناطق خشک جهان با این مسئله مواجه است.

افزایش تعداد و شدت توفان‌های گردوخاک در سال‌های اخیر، تحقیق و بررسی در مورد آنها را امری واجب و ضروری می‌سازد. فراوانی این توفان‌ها در سال ۱۳۹۴ نسبت به سال ۱۳۹۱، ۱۰ برابر شده است (شعاعی، ۱۳۹۴). به‌طور حتم این توفان‌ها از مناظر مختلف زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی و سلامت جوامع بشری، آثار نامطلوبی را به‌بار خواهد آورد. با توجه به اینکه غرب آسیا از زمان‌های قدیم همیشه تحت تأثیر توفان‌های گردوخاک قرار داشته است (شعاعی، ۱۳۹۴)، این سؤال مطرح می‌گردد که علت اصلی تشدید این توفان‌ها در سال‌های اخیر چیست؟ و آیا این امر، موضوعی طبیعی است یا انسان ساخت؟ برای پاسخ دقیق به این سؤالات باید روندهای حاکم بر بارندگی، بیابان‌زایی و منابع آب منطقه مورد بررسی کارشناسی قرار گیرد. از آنجایی که در بسیاری از موارد توفان‌های مذکور دارای منشأ خارج از کشور می‌باشند، دامنه منطقه مورد بررسی را باید تا بیرون از مرزها، تا کشورهای عراق، سوریه و ترکیه گسترش داد. در این گزارش با بررسی کارشناسی موارد مذکور سعی می‌گردد که دلایل اصلی، عوامل مؤثر و راهکارهای تسکین و کنترل برای پدیده توفان‌های گردوخاک، ارائه گردد.

تعریف مسئله و ضرورت گزارش

اولین واقعه توفان گردوخاک در منطقه جنوب غرب ایران و کشور عراق در بین سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۶۷ گزارش شده است (پژوهشکده هواشناسی، ۱۳۹۵). با نگاهی به روند شکل‌گیری این پدیده مخرب می‌توان دریافت که تا سال ۱۳۸۰ این پدیده گذرا بوده است، اما در سال‌های بعد، این پدیده به‌تدریج در شهرهای جنوبی و غربی کشور گسترش یافته، به‌طوری‌که از سال ۱۳۸۷، هجده استان کشور را فرا گرفته و آثار منفی زیادی را به سلامت انسان و محیط زیست و حتی بر اقتصاد کشور وارد ساخته است. با توجه به خسارت زیاد این پدیده و احتمال افزایش وقوع آن در سال‌های آتی، لزوم توجه به آن ازسوی دولت و اجرای راهکارهای مناسب، از تشدید وقوع این پدیده جلوگیری خواهد کرد. بدیهی است که می‌توان قبل از اجرای طرح‌های عملیاتی با داشتن اطلاعات و شناخت کافی از این پدیده، نحوه و علل وقوع آن، راه‌های مناسب را برای مقابله با آن پیدا کرد. با توجه به اینکه منشأ توفان‌های گردوخاک، کانون‌های داخلی و خارجی می‌باشند، لزوم تشخیص و تفکیک منشأ این توفان‌ها و علل خاص هر کدام ضروری است تا علاوه‌بر شفاف‌سازی این موضوع برای عموم، راه‌کارها را بتوان متناسب با هر مورد ارائه داد. پیش‌بینی وضعیت و داشتن نگاهی به افق آینده پدیده توفان‌های گردوخاک نیز در برنامه‌ریزی برای تسکین و سازگاری با آن امری ضروری است.

اهداف گزارش

اهداف اصلی از تدوین این گزارش به‌شرح زیر است:

- تعیین علل اصلی توفان‌های گردوخاک در غرب و جنوب غرب کشور،
- تفکیک عوامل طبیعی و انسان‌ساخت در شکل‌گیری توفان‌های گردوخاک در غرب و جنوب غرب کشور،
- بررسی رابطه بین روندهای حاکم بر منابع آب منطقه و توفان‌های گردوخاک در غرب و جنوب غرب کشور،
- تعیین کانون‌های خارجی و داخلی منشأ توفان‌های گردوخاک در غرب و جنوب غرب کشور،
- پیش‌بینی افق آینده پدیده توفان‌های گردوخاک در منطقه غرب و جنوب غرب کشور.

روش تحقیق

روش تحقیق در تدوین این گزارش عمدتاً براساس مطالعات کتابخانه‌ای، مصاحبه‌های شفاهی، برگزاری جلسات با دستگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی ذیربط و در مواردی هم انجام تحلیل‌های کارشناسی با استفاده از آمار و ارقام دریافتی استوار می‌باشد. در این راستا اهم مراحل انجام این پژوهش به‌شرح زیر است:

– دریافت آمار و ارقام و اطلاعات مربوطه از دستگاه‌های ذی‌ربط، شامل: آمار هواشناسی، هیدرومتری، توفان‌های گردوخاک و غیره،

– تحلیل آمار و ارقام و اطلاعات دریافتی و احصای تغییرات و روندهای حاکم بر پارامترهای مؤثر بر توفان‌های گردوخاک،

– مصاحبه‌های شفاهی و برگزاری جلسات با کارشناسان خبره دستگاه‌های مرتبط (سازمان هواشناسی کشور، پژوهشکده هواشناسی و علوم جوی، مرکز ملی خشکسالی، سازمان حفاظت محیط زیست، شرکت مدیریت منابع آب ایران)،

- بررسی برخی از تحقیقات مرتبط انجام شده در داخل و خارج از کشور،
- جمع‌بندی و تدوین گزارش.

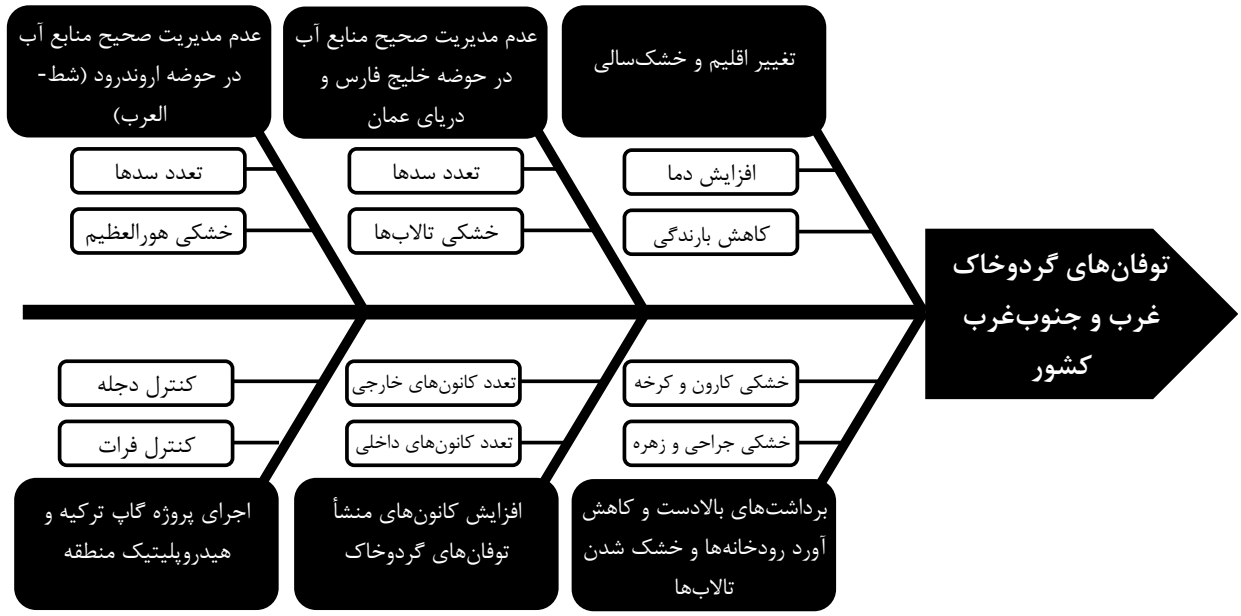
دسته‌بندی مطالب و روش حل مسئله

برای شناسایی، دسته‌بندی و حل مسئله موضوع گزارش حاضر از روش «ایشی‌کاوا»[1] استفاده می‌شود. براساس این روش، عوامل و اجزای مؤثر بر مسئله مورد بررسی (در اینجا موضوع توفان‌های گردوخاک) برای داشتن تصویری کلی از موضوع، به‌صورت یک نمودار علت - معلول ترسیم می‌گردد. از آنجایی که نمودار ترسیم شده به‌صورت

1. Ishikawa

شاخه‌ای بوده و شبیه به استخوان‌های ماهی می‌باشد، به این نمودار، نمودار استخوان ماهی[1] می‌گویند. برای احصای عوامل و اجزای مؤثر بر تحقیق حاضر از مروری بر تحقیقات پیشین، مشورت با کارشناسان خبره و روش توفان فکری[2] استفاده می‌گردد. شکل ۱ این نمودار را در مورد تحقیق حاضر نشان می‌دهد.

شکل ۱. نمودار علت - معلول (استخوان ماهی) تحقیق حاضر

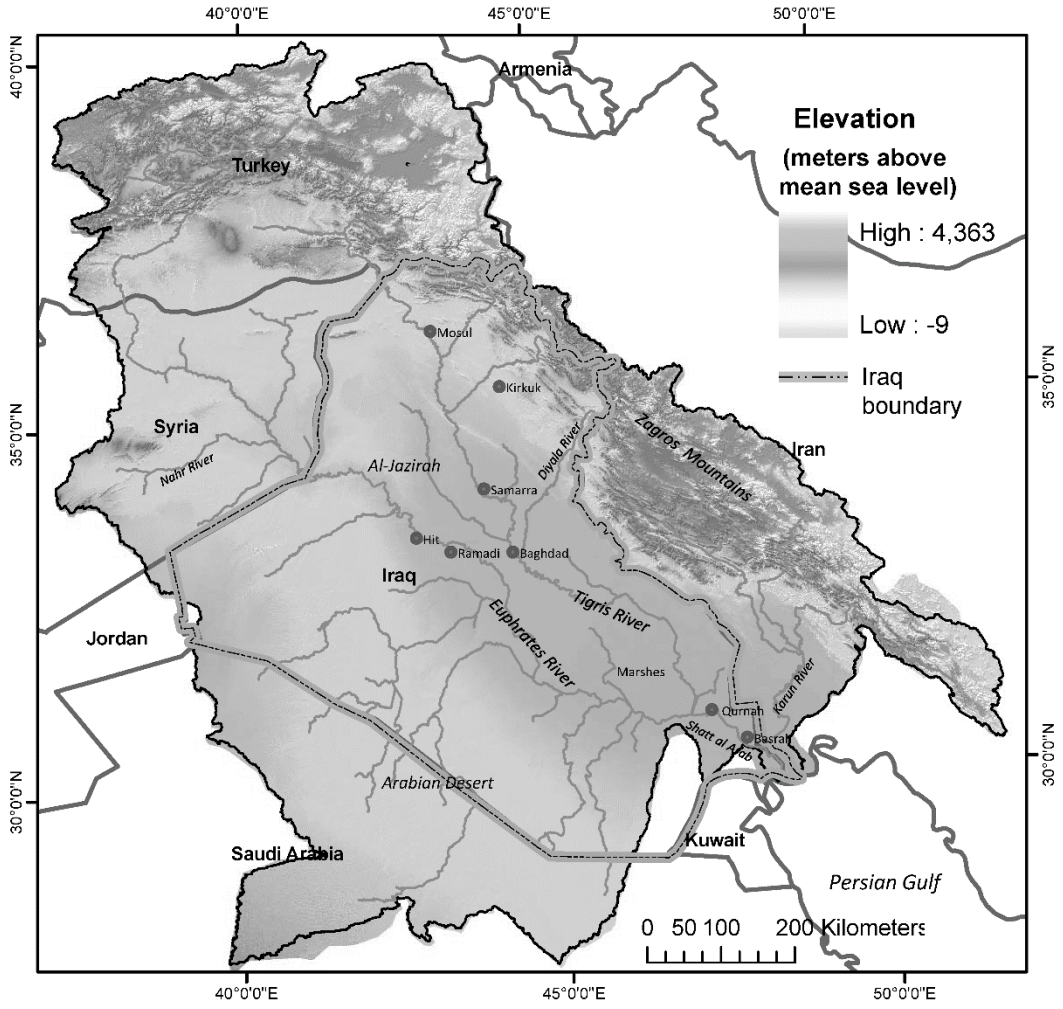


۱. محدوده جغرافیایی مورد مطالعه

محدوده جغرافیایی مورد مطالعه در این تحقیق حوضه آبریز رودخانه اروندرود (شط‌العرب) می‌باشد. رودخانه اروندرود (شط‌العرب) از به هم پیوستن رودخانه‌های دجله و فرات در کشور عراق تشکیل می‌شود و در قسمتی از مسیر خود، مرز بین ایران و عراق را تشکیل می‌دهد. مساحت این حوضه آبریز حدود ۱ میلیون کیلومترمربع می‌باشد و قسمتی از مساحت کشورهای عراق، ترکیه، سوریه، ایران، عربستان سعودی و قسمت کوچکی از اردن را تشکیل می‌دهد. شکل ۲ نقشه حوضه آبریز رودخانه اروندرود (شط‌العرب) را نشان می‌دهد. میانگین بارندگی سالیانه حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب) در مکان‌های مختلف از ۵۰ تا ۱۰۰۰ میلیمتر متغیر است. بالغ بر ۹۰ درصد نزولات جوی بین ماه‌های نوامبر تا آوریل رخ می‌دهد که اکثر آن در فصل زمستان (ماه‌های دسامبر تا مارس) به‌وقوع می‌پیوندد. میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در این حوضه از ۸۰۰ تا ۱۴۰۰ میلیمتر در سال متغیر بوده و همچنین تغییرات رنج دمایی در این حوضه گسترده می‌باشد (Flint *et al.*, 2010).

1. Fish Bone Diagram
2. Brain Storming

شکل ۲. نقشه حوضه آبریز رودخانه اروندرود (شط‌العرب) (شکل از Flint *et al.*, 2010)



به‌دلیل تبخیر بالا و بارندگی کم در نواحی وسیعی از این حوضه (عمدتاً شامل کشور عراق)، کشاورزی در این نواحی شدیداً به آبیاری متکی است. رودخانه‌های طویل و مشترک بین کشورهای این حوضه آبریز همیشه چالش‌هایی را در مدیریت منابع آب آن ایجاد کرده است.

دلیل اصلی انتخاب این منطقه به‌عنوان محدوده جغرافیایی مورد مطالعه این است که منابع آب سطحی این منطقه بین کشورهای تشکیل‌دهنده آن مشترک بوده و نمی‌توان روندهای حاکم بر منابع آب را فقط درون یک کشور مورد بررسی قرار داد. در این راستا به‌دلیل اینکه کانون‌های منشأ توفان‌های گردوخاک در غرب و جنوب غرب کشور هم منشأ داخلی و هم منشأ خارجی دارند، باید در بررسی این پدیده عوامل برون‌مرزی را نیز مدنظر قرار داد و پدیده را در مقیاس سیستم بسته حوضه آبریز مورد بررسی قرار داد.

۲. منابع آب سطحی حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب)

حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب) که از دو شبکه اصلی رودخانه‌ای دجله و فرات تشکیل شده است، بین کشورهای ترکیه، عراق، سوریه، ایران و عربستان سعودی مشترک می‌باشد. جدول ۱ نحوه اشتراک این کشورها را در تشکیل این حوضه آبریز از نظر مساحت نشان می‌دهد.

جدول ۱. نحوه اشتراک کشورها در حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب)

کشور	حوضه آبریز دجله		حوضه آبریز فرات	
	مساحت (km^2)	درصد	مساحت (km^2)	درصد
ترکیه	۵۷,۶۱۴	۱۲/۲	۱۲۵,۰۰۰	۲۸/۲
سوریه	۸۳۴	۰/۲	۷۶,۰۰۰	۱۷/۱
عراق	۲۷۴,۴۷۵	۵۸	۱۷۷,۰۰۰	۳۹/۹
ایران	۱۴۰,۱۸۰	۲۹/۶	۰	۰
عربستان سعودی	۰	۰	۶۶,۰۰۰	۱۴/۹
کل	**۴۷۳,۱۰۳**	**۱۰۰**	**۴۴۴,۰۰۰**	**۱۰۰**

Source: Flint *et al*., 2010.

عمده سرشاخه‌های رودخانه‌های دجله و فرات در کشور ترکیه واقع شده است و پس از آن وارد کشورهای عراق و سوریه شده و در انتها نیز در مرز ایران و عراق به‌هم پیوسته و اروندرود (شط‌العرب) را تشکیل داده و به خلیج فارس می‌ریزد. به‌دلیل مشترک بودن رودخانه‌های دجله و فرات بین چند کشور، مدیریت منابع آب در این حوضه آبریز همواره با چالش همراه بوده است.

۲-۱. روند تغییرات دما و بارش در حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب)

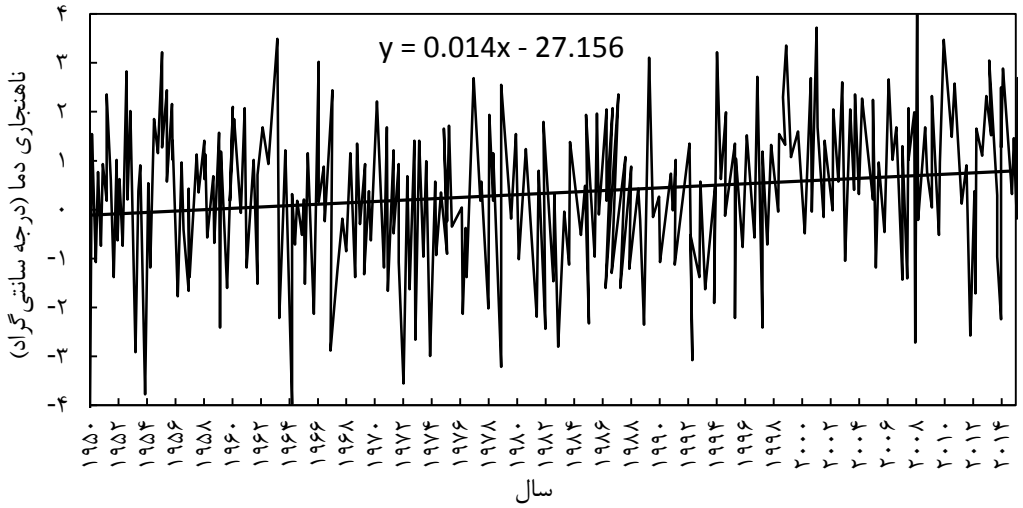
گستره تغییرات دمایی در حوضه آبریز رودخانه اروندرود (شط‌العرب) از ۲۵- درجه سانتیگراد در مناطق کوهستانی غربی و شمالی تا ۵۰+ درجه سانتیگراد در مناطق بیابانی در کشورهای عراق و ایران می‌باشد. گستره تغییرات بارش نیز از ۵۰ تا ۱۰۰۰ میلیمتر متغیر است (UN-ESCWA, 2013). لازم به‌ذکر است که حوضه آبریز مورد مطالعه در منطقه خاورمیانه یکی از مناطقی است که به‌دلیل تغییرات اقلیم و خشکسالی‌ها بیشترین تأثیر را از لحاظ منابع آبی پذیرفته است. شکل‌های ۳ و ۴ به‌ترتیب تغییرات ناهنجاری دما[1] و ناهنجاری بارش[2] را در حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب) در دوره‌های آماری به‌ترتیب ۶۵ و ۳۶ ساله اخیر نشان می‌دهد. بر این اساس می‌توان استنباط کرد که میانگین ناهنجاری دما در دوره‌های ۱۹۵۰ -۲۰۰۰ و ۲۰۰۰-۲۰۱۴ به‌ترتیب برابر با ۰/۱۲+ و ۰/۹۶+ درجه سانتیگراد می‌باشد. این

1. Temperature Anomaly
2. Rainfall Anomaly

امر بدان معناست که طی ۱۵ سال اخیر این منطقه با شدت بسیار زیادی نسبت به سال‌های قبل گرم‌تر شده است. همچنین میانگین بارندگی سالیانه در دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۴ نسبت به دوره ۱۹۵۰ -۲۰۰۰ حدود ۲۷ درصد کاهش داشته است که مقدار بسیار چشمگیری است. آمار فوق حاکی از حاکم بودن خشکسالی شدید در این منطقه است.

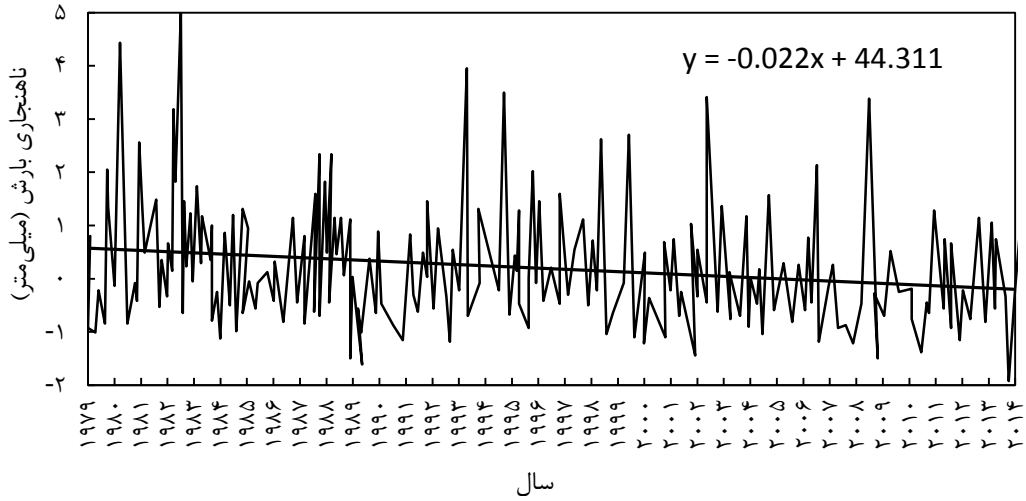
نتایج اجرای مدل‌های GCM[1] برای منطقه حوضه‌های آبریز رودخانه‌های دجله و فرات حاکی از آن است که در سال ۲۱۰۰ این منطقه تا حدود ۶ درجه سانتیگراد گرم‌تر خواهد شد. این امر باعث کاهش سطح برف و وقوع سیلاب‌های زودهنگام در فصل بهار می‌شود که در نهایت باعث تغییرات چشمگیر در رژیم رودخانه‌های دجله و فرات می‌گردد. درواقع می‌توان گفت که حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب) به‌عنوان منطقه‌ای است که در برابر تغییرات اقلیم بسیار آسیب‌پذیر است (Bozkurt and Sen, 2011).

شکل ۳. تغییرات ناهنجاری دما در حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب) (داده‌ها از سایت NCEP/NCAR)



1. General Circulation Model

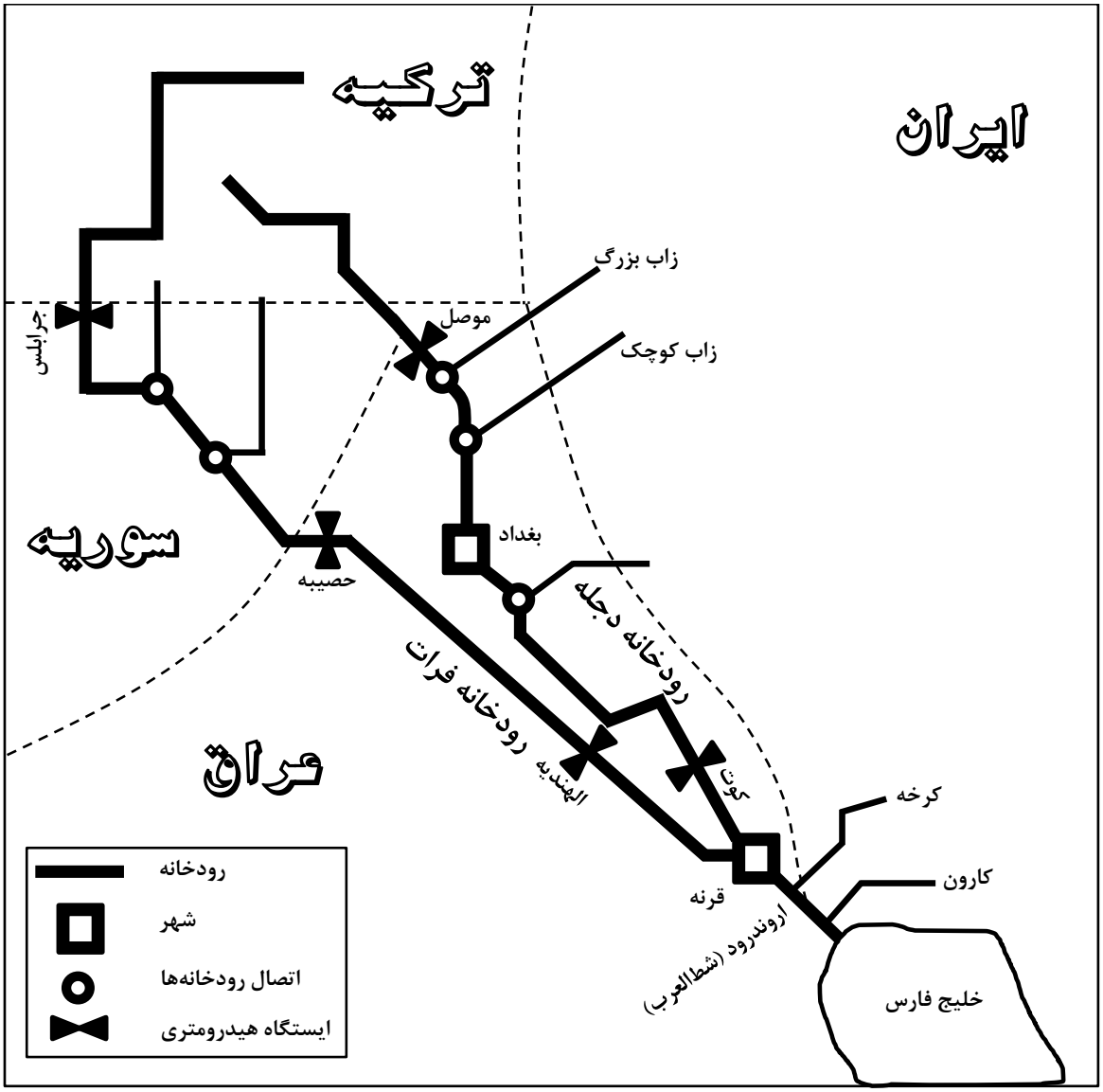
شکل ۴. تغییرات ناهنجاری بارش در حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب) (داده‌ها از سایت NCEP/NCAR)



۲-۲. شبکه رودخانه‌ای حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب)

شکل ۵ شماتیک شبکه رودخانه‌های اصلی حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب) را نشان می‌دهد. در این شکل رودخانه‌های دجله، فرات، شاخه‌های اصلی و نحوه اتصال آنها نشان داده شده است. همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد، رودخانه‌های دجله و فرات، هر دو از کشور ترکیه سرچشمه گرفته و پس از آن رودخانه دجله وارد کشور عراق و فرات نیز وارد کشور سوریه می‌شود. سپس رودخانه فرات نیز از کشور سوریه وارد عراق شده و هر دو رودخانه پس از طی مسیری در نقطه‌ای به‌نام قرنه در جنوب شرق عراق به‌هم پیوسته و تشکیل رودخانه اروندرود (شط‌العرب) را می‌دهند. رودخانه اروندرود (شط‌العرب) پس از طی مسیر کوتاهی در عراق، مرز بین کشورهای ایران و عراق را تشکیل داده و در انتها نیز به خلیج فارس می‌ریزد. لازم به‌ذکر است که در مسیر رودخانه دجله رودخانه‌های زاب بزرگ و زاب کوچک از کشور ایران به آن متصل می‌شوند. رودخانه‌های کرخه و کارون نیز در انتها در مرز ایران و عراق به رودخانه اروندرود (شط‌العرب) می‌ریزند.

شکل ۵. شماتیک شبکه رودخانه‌های دجله، فرات و نحوه اتصال آنها (توجه: نقشه به مقیاس نیست)



جداول ۲ و ۳ به‌ترتیب مشخصات رودخانه‌های دجله و فرات را در کشورهای مختلف نشان می‌دهد. بر این اساس می‌توان گفت که بیشتر آبدهی رودخانه‌های دجله و فرات از کشور ترکیه بوده و کمترین آن نیز از کشور سوریه می‌باشد. همچنین قابل ذکر است که بیشتر طول این دو رودخانه در کشور عراق واقع شده است. ۲۱/۸ درصد آبدهی رودخانه دجله از کشور ایران بوده و همچنین هیچ قسمتی از حوضه آبریز رودخانه فرات در کشور ایران واقع نمی‌شود.

جدول ۲. مشخصات رودخانه دجله با توجه به کشورهای مختلف

رودخانه دجله	ترکیه	عراق	سوریه	ایران	کل
آبدهی (میلیارد مترمکعب در سال)	۳۳/۵	۶/۸	۰	۱۱/۲	۵۱/۵
درصد آبدهی	۶۵	۱۳/۲	۰	۲۱/۸	۱۰۰
سطح زهکشی (کیلومتر مربع)	۴۵,۰۰۰	۲۹۲,۰۰۰	۱,۰۰۰	۳۷,۰۰۰	۳۷۵,۰۰۰
درصد سطح زهکشی	۱۲	۵۴	۰/۲	۳۳/۸	۱۰۰
طول رودخانه (کیلومتر)	۴۰۰	۱,۳۱۸	۴۴	۰	۱,۸۶۲
درصد طول رودخانه	۲۱	۷۷	۲/۰	۰	۱۰۰

Source: Issa *et al.*, 2014.

جدول ۳. مشخصات رودخانه فرات با توجه به کشورهای مختلف

رودخانه فرات	ترکیه	عراق	سوریه	ایران	کل
آبدهی (میلیارد مترمکعب در سال)	۳۲/۲	۰	۰/۵	۰	۳۲/۷
درصد آبدهی	۹۸/۵	۰	۱/۵	۰	۱۰۰
سطح زهکشی (کیلومتر مربع)	۱۲۵,۰۰۰	۱۷۷,۰۰۰	۷۶,۰۰۰	۰	۴۴۴,۰۰۰
درصد سطح زهکشی	۲۸	۴۰	۱۷	۰	۸۵
طول رودخانه (کیلومتر)	۱,۲۳۰	۱,۰۶۰	۷۱۰	۰	۳,۰۰۰
درصد طول رودخانه	۴۱	۳۵	۲۴	۰	۱۰۰

Source: Ibid.

۳-۲. آبدهی رودخانه‌های اصلی حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب)

آب رودخانه دجله از کشورهای ترکیه، عراق و ایران تأمین می‌گردد. کشور سوریه نقشی در تأمین آب رودخانه دجله ایفا نمی‌کند. تخمین زده می‌شود که ترکیه حدود دوسوم و عراق و ایران نیز در مجموع یک‌سوم آب این رودخانه را تأمین می‌کنند (UN-ESCWA, 2013). بیشتر تغذیه رودخانه دجله از بارندگی کوهستان‌های ترکیه، ایران و شاخه‌های فرعی ورودی از ایران می‌باشد. جدول ۴ مقادیر آبدهی رودخانه دجله را در ایستگاه‌های هیدرومتری مختلف نشان می‌دهد (موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در شکل ۵ نشان داده شده است).

بیش از ۹۰ درصد آورد رودخانه فرات از کشور ترکیه منشأ می‌گیرد. این امر در حالی است که فقط حدود یک‌سوم حوضه آبریز این رودخانه در کشور ترکیه واقع شده است. سوریه نیز مقدار بسیار ناچیزی از آورد این رودخانه را توسط شاخه‌های فرعی تأمین می‌کند. کشور عراق نقشی را در تأمین آب رودخانه فرات ایفا نمی‌کند. سهم هر کشور در تأمین آورد رودخانه فرات به عوامل متعددی ازجمله میزان بارندگی بالادست، میزان برداشت‌های بالادست، آبیاری زمین‌های کشاورزی و آب‌های برگشتی زهکشی دارد. جدول ۵ مقادیر آبدهی رودخانه فرات را در ایستگاه‌های هیدرومتری مختلف نشان می‌دهد (موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در شکل ۵ نشان داده شده است).

جدول ۴. آبدهی رودخانه دجله در ایستگاه‌های هیدرومتری مختلف

ایستگاه هیدرومتری (سطح زهکشی، کیلومتر مربع)	دوره	میانگین (میلیارد مترمکعب)	حداقل (میلیارد مترمکعب)	حداکثر (میلیارد مترمکعب)
موصل، عراق (۵۶،۰۰۰)	۱۹۳۱-۲۰۱۱	۲۰	۶/۵	۴۳/۱
	۱۹۳۱-۱۹۷۳	۲۱/۳	۱۱/۷	۴۳/۱
	۱۹۳۱-۱۹۵۲	۱۹/۴	۱۲/۲	۲۷/۶
	۱۹۵۳-۱۹۸۴	۲۲	۱۱/۷	۴۳/۱
	۱۹۷۴-۲۰۰۵	۱۹/۵	۶/۵	۴۱/۷
	۱۹۸۵-۲۰۰۵	۱۹/۱	۶/۵	۴۱/۷
کوت، عراق (۱۷۳،۰۰۰)	۱۹۳۱-۲۰۰۵	۲۵/۷	۴/۲	۵۹/۲
	۱۹۳۱-۱۹۷۳	۳۲	۱۵/۲	۵۹/۲
	۱۹۳۱-۱۹۵۲	۳۶/۸	۱۵/۲	۵۹/۲
	۱۹۵۳-۱۹۸۴	۲۴/۵	۱۳/۲	۵۰/۳
	۱۹۷۴-۲۰۰۵	۱۶/۷	۴/۲	۴۷/۵
	۱۹۸۵-۲۰۰۵	۱۳/۹	۴/۲	۴۷/۵

Source: UN-ESCWA, 2013

جدول ۵. آبدهی رودخانه فرات در ایستگاه‌های هیدرومتری مختلف

ایستگاه هیدرومتری (سطح زهکشی، کیلومتر مربع)	دوره	میانگین (میلیارد مترمکعب)	حداقل (میلیارد مترمکعب)	حداکثر (میلیارد مترمکعب)
جرابلس، سوریه (۱۲۰،۰۰۰)	۱۹۳۸-۲۰۱۰	۲۶/۶	۱۲/۷	۵۶/۸
	۱۹۳۸-۱۹۷۳	۳۰	۱۵	۵۶/۸
	۱۹۷۴-۱۹۸۷	۲۴/۹	۱۲/۷	۳۴/۱
	۱۹۸۸-۱۹۹۸	۲۵/۵	۱۴/۴	۵۰/۱
	۱۹۷۴-۱۹۹۸	۲۵/۱	۱۲/۷	۵۰/۱
	۱۹۹۰-۲۰۱۰	۲۲/۸	۱۴/۴	۳۲/۶
حصیبه، عراق (۲۲۱،۰۰۰)	۱۹۸۱-۲۰۱۱	۲۰	۸/۹	۴۷/۶
	۱۹۸۸-۱۹۹۸	۲۲/۸	۸/۹	۴۷/۶
	۱۹۹۹-۲۰۱۰	۱۵/۵	۹/۳	۲۰/۷
	۱۹۹۰-۲۰۱۰	۱۶/۸	۸/۹	۳۰/۷
الهندیه، عراق (۲۷۴،۱۰۰)	۱۹۳۰-۱۹۹۹	۱۷/۶	۳/۱	۴۰
	۱۹۳۸-۱۹۷۳	۱۹/۸	۶/۶	۴۰
	۱۹۷۴-۱۹۸۷	۱۵/۳	۳/۱	۲۴/۱
	۱۹۸۸-۱۹۹۸	۱۳/۸	۷/۷	۲۷/۹
	۱۹۷۴-۱۹۹۸	۱۴/۷	۳/۱	۲۷/۹

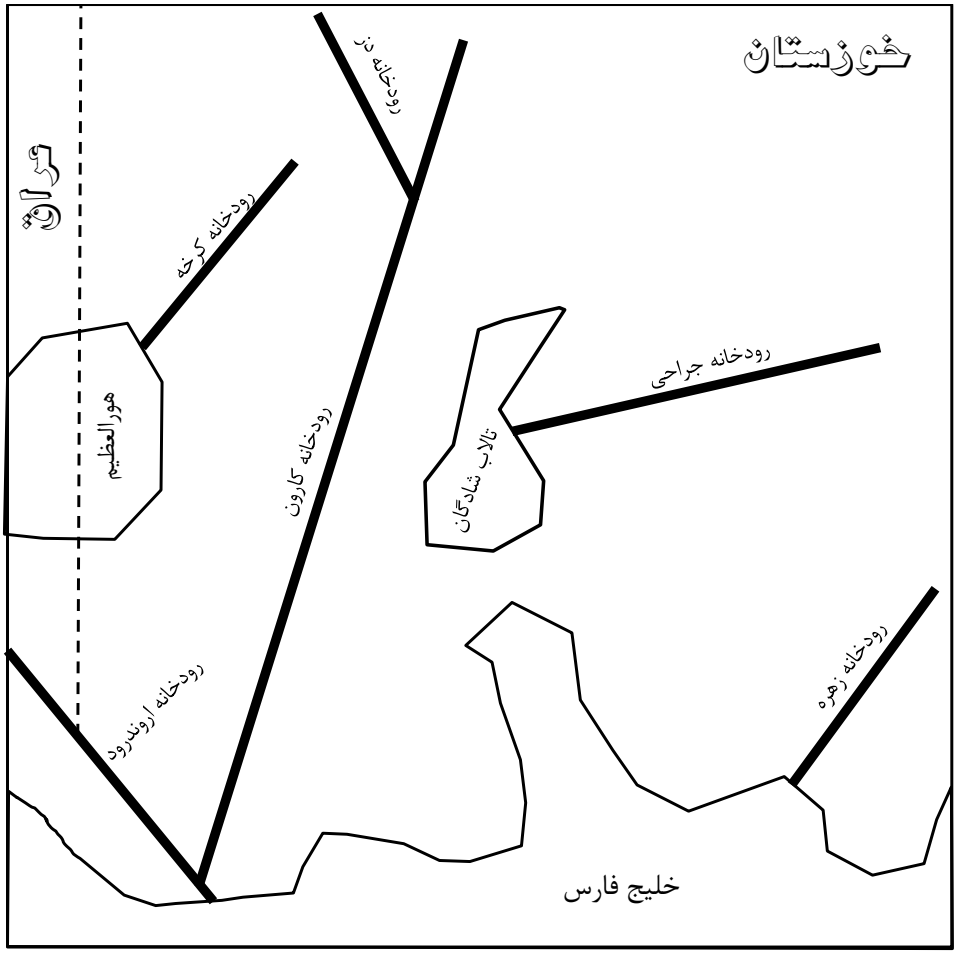
Source: Ibid.

۴-۲. بارش و منابع آب حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان

در قسمت‌های قبل آبدهی رودخانه‌های دجله و فرات و مشخصات آنها مورد بررسی قرار گرفت. برای تشخیص رابطه بین روندهای حاکم بر منابع آب منطقه و توفان‌های گردوخاک غرب و جنوب غرب

کشور، که برخی از آنها منشأ داخلی دارند، باید نگاه دقیق‌تری به آورد رودخانه‌های حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان در منطقه استان خوزستان داشت. شکل ۶ شماتیک شبکه رودخانه‌های اصلی استان خوزستان را نشان می‌دهد.

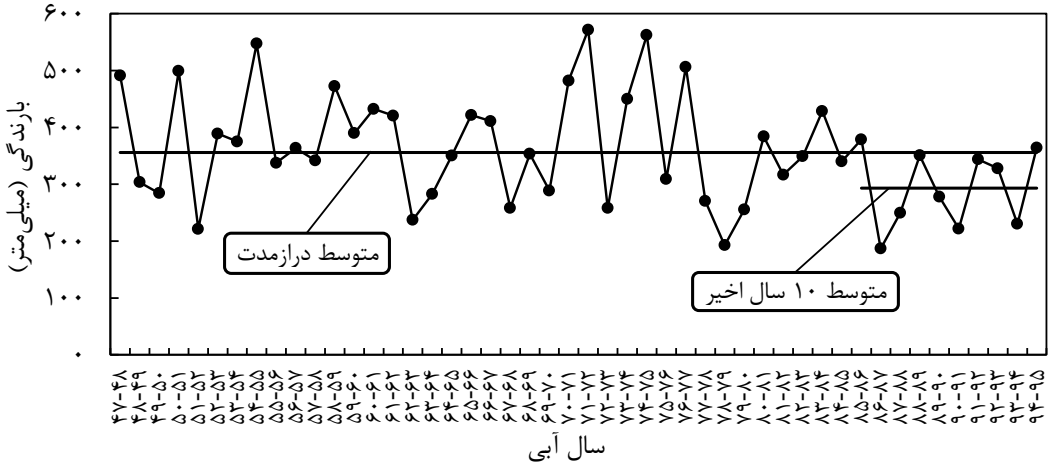
شکل ۶. شماتیک شبکه رودخانه‌های اصلی خوزستان (توجه: نقشه به مقیاس نیست)



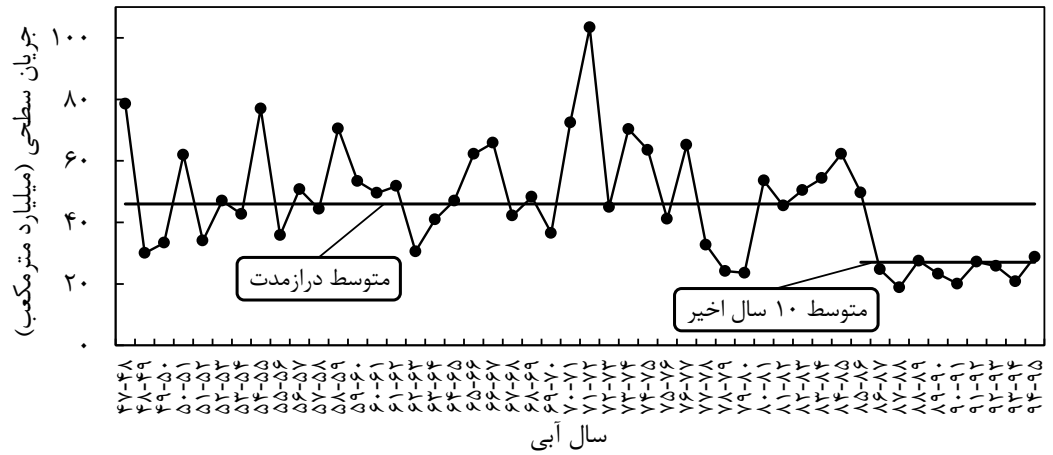
همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد، پنج رودخانه اصلی کارون، کرخه، دز، زهره و جراحی در استان خوزستان جریان دارد. ریزش‌گاه این رودخانه‌ها به‌ترتیب رودخانه اروندرود، تالاب هورالعظیم، رودخانه کارون، خلیج فارس و تالاب شادگان می‌باشد. به‌دلیل تغییرات اقلیم و خشکسالی‌های پی‌درپی مقادیر بارندگی و حجم جریان سطحی در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان کاهش چشمگیر یافته است. شکل‌های ۷ و ۸، مقادیر بارندگی و حجم جریان سطحی را در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان طی ۴۸ سال اخیر نشان می‌دهد. براساس این شکل‌ها متوسط بارندگی سالیانه و حجم جریان سطحی در این حوضه آبریز در ۱۰ سال اخیر نسبت به متوسط بلندمدت به‌ترتیب حدود ۱۸ و ۴۲ درصد

کاهش داشته است. بدین ترتیب کاهش هر ۱ درصد بارندگی، کاهش حدود ۲/۳ درصد رواناب را به‌همراه داشته است. دلایل این موضوع را می‌توان در خطی نبودن رابطه بین مقادیر بارش و رواناب و برداشت‌های بالادست (دست‌خورده بودن رواناب مورد اندازه‌گیری) جستجو کرد.

شکل ۷. مقادیر بارندگی سالیانه در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان در سال‌های مختلف



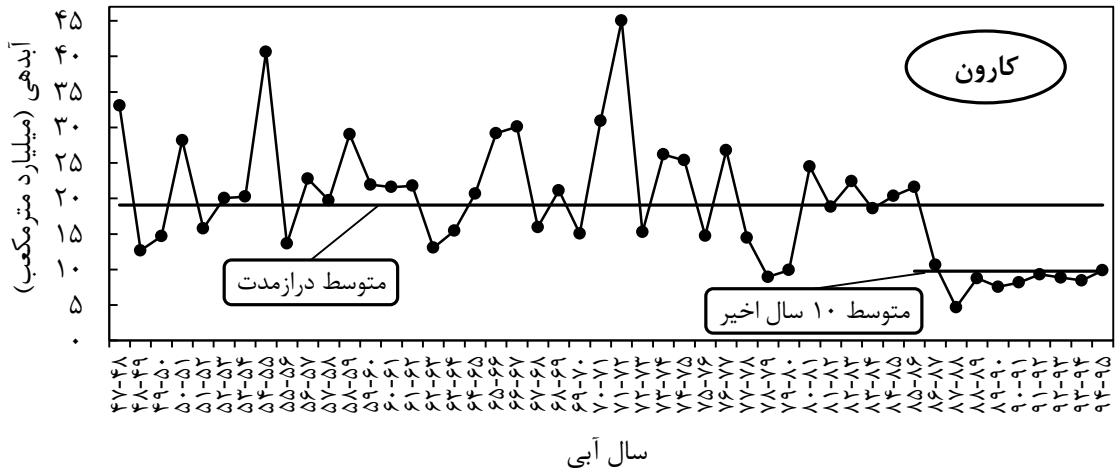
شکل ۸. مقادیر حجم جریان سطحی سالیانه در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان در سال‌های مختلف



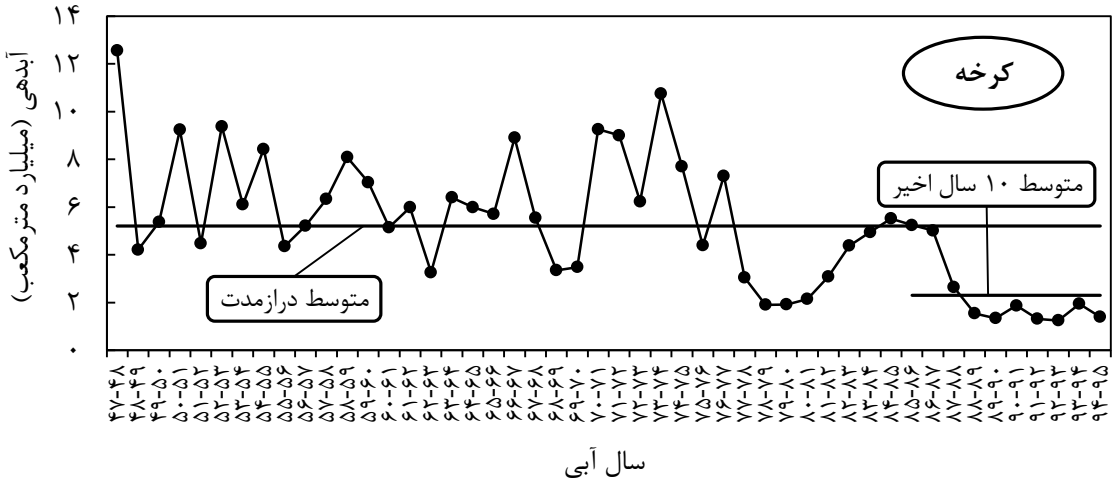
شکل‌های ۹ تا ۱۲ آبدهی رودخانه‌های اصلی استان خوزستان (کارون، کرخه، جراحی و زهره) را طی سال‌های مختلف نشان می‌دهد. در تمام این شکل‌ها آبدهی رودخانه‌ها در دوره آماری موجود بررسی شده است. دوره آماری برای رودخانه‌های کارون، کرخه و جراحی از سال آبی ۱۳۴۷-۱۳۴۸ تا ۱۳۹۴-۱۳۹۵ و برای رودخانه زهره نیز از سال ۱۳۷۴-۱۳۷۵ تا ۱۳۹۴-۱۳۹۵ بوده است. براساس این شکل‌ها متوسط آبدهی تمام این رودخانه‌ها در ۱۰ سال اخیر نسبت به متوسط کل دوره موجود کاهش

چشمگیری داشته است. مقادیر کاهش مذکور برای رودخانه‌های کارون، کرخه، جراحی و زهره به‌ترتیب برابر ۴۹، ۵۶، ۵۶ و ۴۱ درصد می‌باشد. ارقام مذکور بیانگر این هستند که این رودخانه‌ها کاهش بسیار چشمگیری در آبدهی خود، طی سال‌های اخیر داشته‌اند. نکته قابل توجه این است که به‌دلیل اینکه طول دوره آماری برای رودخانه زهره نسبت به سه رودخانه دیگر کوتاه‌تر بوده است، درصد کاهش آبدهی آن در سال‌های اخیر نسبت به متوسط کل دوره، نسبت به سه رودخانه کمتر می‌باشد. با توجه به اینکه رودخانه‌های مذکور هر کدام در مسیر خود یا در ریزش‌گاه نهایی خود با مناطق مستعد تولید گردوخاک مواجه هستند، کاهش آورد آنها می‌تواند نقش مهمی در تولید و تشدید توفان‌های گردوخاک داشته باشد.

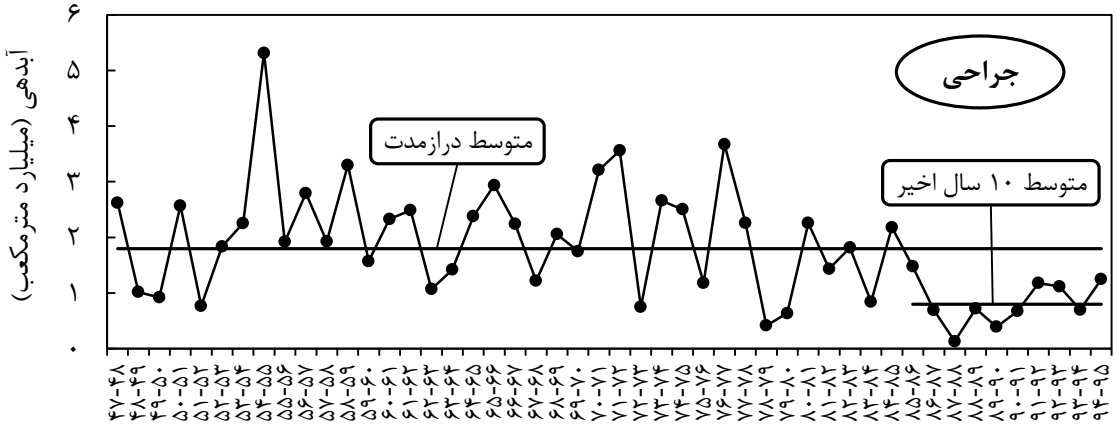
شکل ۹. آبدهی رودخانه کارون در ایستگاه هیدرومتری ملاثانی در سال‌های مختلف



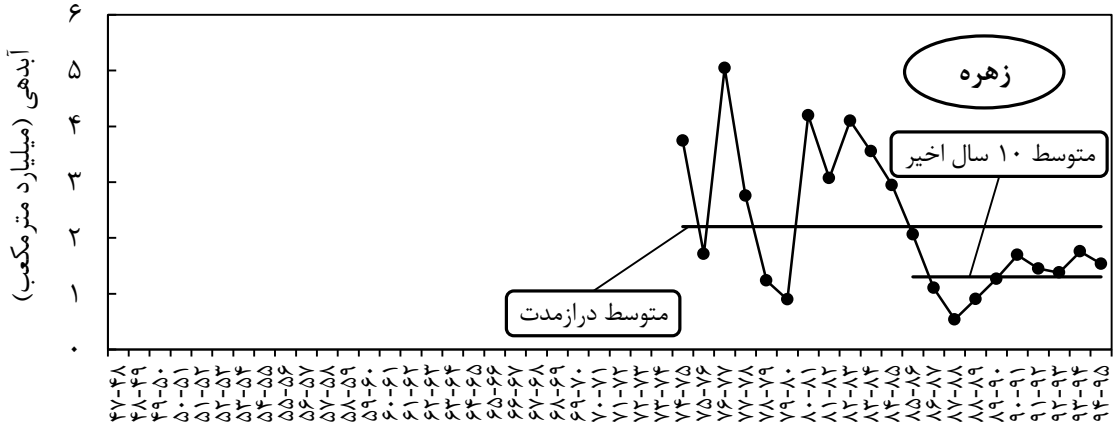
شکل ۱۰. آبدهی رودخانه کرخه در ایستگاه هیدرومتری پای‌پل در سال‌های مختلف



شکل ۱۱. آبدهی رودخانه جراحی در ایستگاه هیدرومتری گرگر در سال‌های مختلف



شکل ۱۲. آبدهی رودخانه زهره براساس ایستگاه‌های پل‌فلور و حاج‌قلندر در سال‌های مختلف



۵-۲. سدهای تأسیس شده در حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب)

جدول ۶ سدهای اصلی تأسیس شده را در حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب) نشان می‌دهد. بر این اساس و با توجه به سایر سدهای این حوضه، که نام آنها در این جدول ارائه نشده است، می‌توان گفت که بیش از ۳۰۰ میلیارد مترمکعب ظرفیت مخزن مهار آب در این حوضه آبریز وجود دارد. براساس این جدول بیشترین ظرفیت مهار آب در کشور عراق وجود دارد. البته قابل توجه است که پس از اجرای طرح‌های مهار آب کشور ترکیه روی رودخانه‌های دجله و فرات (طرح گاپ) میزان آب ورودی از سمت کشور ترکیه به کشورهای عراق و سوریه به‌شدت کاهش خواهد یافت. با وجود سدهای متعدد روی رودخانه‌های دجله و فرات و مهار حجم زیادی از آب در مسیر این رودخانه‌ها، به‌طور حتم آثار نامطلوب زیست‌محیطی این اقدامات قابل انتظار خواهد بود.

جدول ۶. سدهای اصلی تأسیس شده در حوضه آبریز رودخانه اروندرود (شط‌العرب)

نام سد	کشور	حجم مخزن (میلیارد مترمکعب)
رودخانه دجله		
Batman	ترکیه	۱/۲
Kralkizi	ترکیه	۱/۹
Al-Adheem	عراق	۱/۵
Derbendikhan (Diyala)	عراق	۳
Dokan (L. Zab)	عراق	۶/۸
Hamrin (Diyala)	عراق	۳/۶
Mosul	عراق	۱۱/۱
Samarra-Tharthar	عراق	۷۲/۸
دز	ایران	۲/۷
کارون ۱	ایران	۳/۱
کارون ۳	ایران	۳
کارون ۴	ایران	۲/۳
کرخه	ایران	۷/۸
گتوند	ایران	۵
مارون	ایران	۱/۲
رودخانه فرات		
Ataturk	ترکیه	۴۸/۷
Birecik	ترکیه	۱/۲
Karakaya	ترکیه	۹/۶
Keban	ترکیه	۳۱
Tabaqa	سوریه	۱۱/۷
Tishrine	سوریه	۱/۹
Upper Khabur	سوریه	۱
Haditha	عراق	۸/۲
Ramadi-Habbaniyah	عراق	۳/۳
Ramadi Raazza	عراق	۲۶

Source: Issa *et al.*, 2014.

۶-۲. آثار پروژه گاپ ترکیه بر منابع آب منطقه

پروژه گاپ ترکیه روی سرشاخه‌های رودخانه‌های دجله و فرات با مساحتی حدود ۱۰ درصد این کشور در جنوب ترکیه طراحی و به اجرا گذاشته شده است و قلمرو ۱۰ استان ترکیه را در بر می‌گیرد. این پروژه شامل ۲۲ سد بزرگ و کوچک و ۱۹ طرح برقابی با تولید سالیانه ۷۵۰۰ مگاوات برق، روی رودخانه‌های دجله و فرات اجرا می‌گردد. آبیاری نزدیک به ۱/۸ میلیون هکتار از زمین‌های منطقه و توسعه گردشگری و ایجاد اشتغال از دیگر اهداف پروژه گاپ است. قابل ذکر است که فقط سدهای آتاتورک و ایلیسو در پروژه گاپ، ظرفیت مهار حدود ۶۰ میلیارد مترمکعب از میزان آب ورودی به سمت کشورهای سوریه و عراق را خواهند داشت. در این طرح تاکنون بیش از سه‌چهارم سدهای پیش‌بینی شده، احداث و مورد بهره‌برداری قرار گرفته

است و بقیه نیز در حال ساخت هستند. همچنین حدود یک‌سوم شبکه‌های آبیاری این طرح نیز احداث شده‌اند. اعتبار مصوب این طرح حدود ۲۱ میلیارد دلار است. همچنین حدود ۸۰ شرکت خارجی در پروژه گاپ فعال بوده که ۷۳ شرکت آن متعلق به صهیونیست‌ها می‌باشد. این شرکت‌ها عمدتاً در زمینه طرح‌های آبیاری، منابع زیرزمینی، تولید منسوجات و فرآورده‌های لبنی فعالیت دارند.

به‌دلیل پروژه گاپ در شرایط آتی، ورودی آب از کشور ترکیه از طریق رودخانه فرات به عراق از ۲۸/۳ میلیارد مترمکعب به ۹/۵ میلیارد مترمکعب (معادل ۶۶ درصد) و از رودخانه دجله از ۱۹/۳ میلیارد مترمکعب به ۱۰/۳ میلیارد مترمکعب (معادل ۴۷ درصد) کاهش خواهد یافت. در نتیجه کشور عراق با کاهش ۵۸ درصدی در منابع آب خود مواجه خواهد بود. این امر بدان معناست که تأمین نیاز آبی حدود ۱/۸ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی عراق با مشکل مواجه شده و جمعیتی بالغ بر ۱۵ میلیون نفر تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. این رویداد یک معضل جدی اقتصادی، اجتماعی و سیاسی برای عراق به‌حساب خواهد آمد و لذا امکان وقوع تهدیدات دفاعی و امنیتی و مناقشه با کشورهای همسایه ازسوی عراق قابل تصور خواهد بود. اثر مهم دیگری که در اثر اجرای پروژه گاپ ترکیه به‌وقوع خواهد آمد، کاهش شدید آورد رودخانه‌های دجله و فرات به سمت پایین‌دست و عدم تأمین حقابه‌های زیست‌محیطی پهنه‌های آبی پایین‌دست و تشدید توفان‌های گردوخاک خواهد بود.

۳. توفان‌های گردوخاک غرب و جنوب غرب ایران

بررسی آمار بلندمدت (۵۰ ساله) آب‌وهوایی نشان می‌دهد که توفان‌های گردوخاک به‌عنوان یک رویداد طبیعی هرساله وجود داشته است. فراوانی رخداد این توفان‌ها ارتباط مستقیم با میزان بارندگی سالیانه و وضعیت پوشش گیاهی داشته است، به‌گونه‌ای که با کاهش بارندگی‌ها، رخدادهای توفان‌های گردوخاک افزایش یافته است. جهت اندازه‌گیری کیفیت هوا معمولاً از شاخص بین‌المللی کیفیت هوا استفاده می‌شود. در ایران نیز سازمان حفاظت محیط زیست، برای سنجش کیفیت هوا از این شاخص استفاده می‌کند. جدول ۷ مقادیر این شاخص را نشان می‌دهد.

جدول ۷. تراکم آلاینده‌ها براساس میکروگرم بر مترمکعب و سطح سلامتی وابسته به آن

میزان شاخص	سطوح سلامتی
۰-۵۰	خوب
۵۱-۱۰۰	متوسط
۱۰۱-۱۵۰	ناسالم برای بعضی گروه‌ها
۱۵۱-۲۰۰	ناسالم
۲۰۱-۳۰۰	خیلی ناسالم
۳۰۱-۴۰۰	خطرناک

مأخذ: ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۰.

دست‌کم از یک دهه پیش چهار تغییر اساسی در روند رویداد توفان‌های گردوخاک در کشور رخ داده است که عبارتند از: الف) افزایش فراوانی توفان‌های گردوخاک، ب) افزایش غلظت، ج) افزایش مدت زمان ماندگاری و د) افزایش فاصله انتقال از ناحیه منشأ.

در ادامه توضیح مختصری در مورد هر عامل ارائه می‌گردد.

الف) افزایش فراوانی توفان‌های گردوخاک

بررسی آمار روزهای توأم با توفان‌های گردوخاک، نشان می‌دهد که فراوانی رخداد توفان‌های گردوخاک در دهه‌های گذشته همواره با نوسان همراه بوده است و روند افزایشی ثابتی را نشان نمی‌دهد. جدول ۸ آمار تعداد روزهای توأم با توفان‌های گردوخاک را در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ در ایستگاه هواشناسی اهواز نشان می‌دهد.

جدول ۸. تعداد روزهای توأم با توفان‌های گردوخاک در اهواز طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴

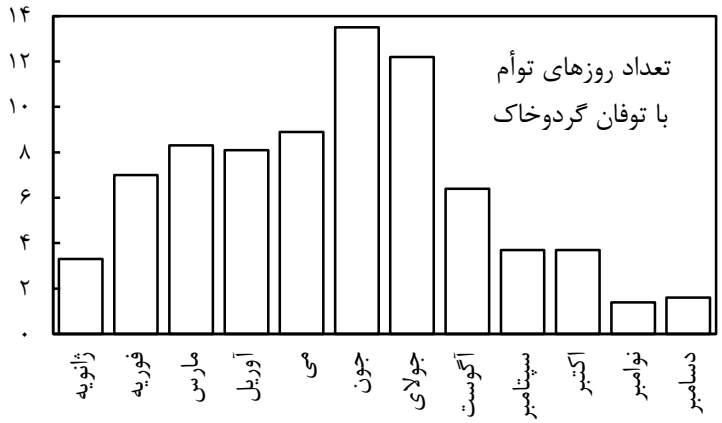
	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	جمع	میانگین
ژانویه	۵	۲	۴	۱	۳	۷	۲	۳	۶	۰	۳۳	۳/۳
فوریه	۷	۴	۵	۹	۱۱	۱۲	۹	۶	۴	۳	۷۰	۷
مارس	۰	۱۱	۸	۹	۱۱	۱۰	۶	۱۴	۱۱	۳	۸۳	۸/۳
آوریل	۹	۴	۸	۱۴	۷	۶	۱۴	۹	۵	۵	۸۱	۸/۱
می	۱۱	۲	۷	۱۲	۱۲	۱۳	۱۰	۱۲	۷	۳	۸۹	۸/۹
جون	۱۶	۲	۱۱	۲۳	۲۱	۱۶	۱۶	۱۴	۱۴	۲	۱۳۵	۱۳/۵
جولای	۱۷	۶	۱۲	۱۹	۲۵	۹	۱۳	۱۰	۶	۵	۱۲۲	۱۲/۲
آگوست	۷	۲	۶	۱۱	۱۱	۴	۷	۱۰	۲	۴	۶۴	۶/۴
سپتامبر	۴	۲	۱	۱۳	۴	۸	۰	۴	۱	۰	۳۷	۳/۷
اکتبر	۱	۴	۲	۱۰	۵	۱	۸	۳	۱	۲	۳۷	۳/۷
نوامبر	۲	۱	۵	۰	۳	۱	۲	۰	۰	۰	۱۴	۱/۴
دسامبر	۳	۱	۴	۲	۰	۲	۳	۰	۱	۰	۱۶	۱/۶
جمع	۸۲	۴۱	۷۳	۱۲۳	۱۱۳	۸۹	۹۰	۸۵	۵۸	۲۷	۷۸۱	۷۸/۱

مأخذ: سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۹۴.

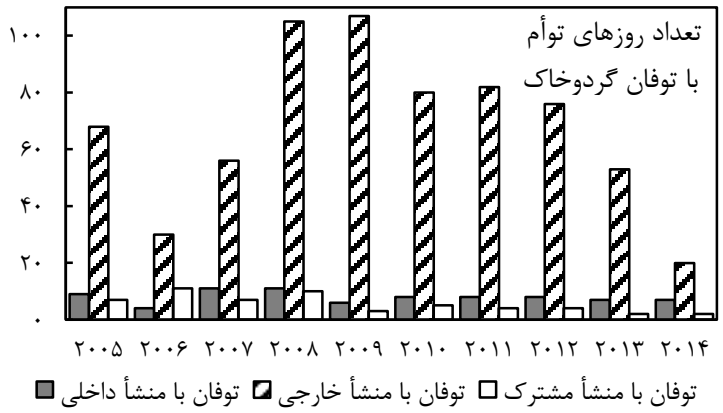
در دوره یاد شده ۷۸۱ روز توأم با توفان گردوخاک ثبت شده است که ۶۵۸ روز آن توفان با منشأ خارجی، ۷۴ روز با منشأ داخلی و ۴۹ روز نیز با منشأ مشترک بوده است. بیشترین روزهای گردوخاک در سال ۲۰۰۸ با تعداد ۱۲۳ روز در سال و کمترین میزان، مربوط به سال ۲۰۱۴ با تعداد ۲۷ روز در سال بوده است. متوسط بیشترین روزهای گردوخاک در ماه، به میزان ۱۴ روز مربوط به ماه جون (خرداد) و متوسط کمترین روزهای گردوخاک در ماه، به میزان ۱/۴ روز مربوط به ماه نوامبر (آبان) است (شکل ۱۳). حداکثر روزهای گردوخاک در ماه مربوط به ماه جولای (تیر) ۲۰۰۹ با تعداد ۲۵ روز بوده است. شکل ۱۴ نیز فراوانی توفان‌های گردوخاک را به تفکیک منشأ در دوره زمانی یاد شده نشان می‌دهد. بر

این اساس، رویداد توفان‌های گردوخاک از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ با یک شیب قابل ملاحظه روند افزایشی داشته و پس از آن تا سال ۲۰۱۴ با یک شیب ملایم، روند کاهشی دارد. به‌نظر می‌رسد آنچه که در دهه اخیر سبب تشدید توفان‌های گردوخاک شده است، افزایش در سایر ویژگی‌های این توفان‌ها نظیر غلظت، ماندگاری و فاصله انتقال است.

شکل ۱۳. فراوانی وقوع توفان‌های گردوخاک در ماه‌های سال در استان خوزستان



شکل ۱۴. فراوانی تعداد روزهای توفان گردوخاک در دوره ۱۰ ساله ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ به تفکیک منشأ

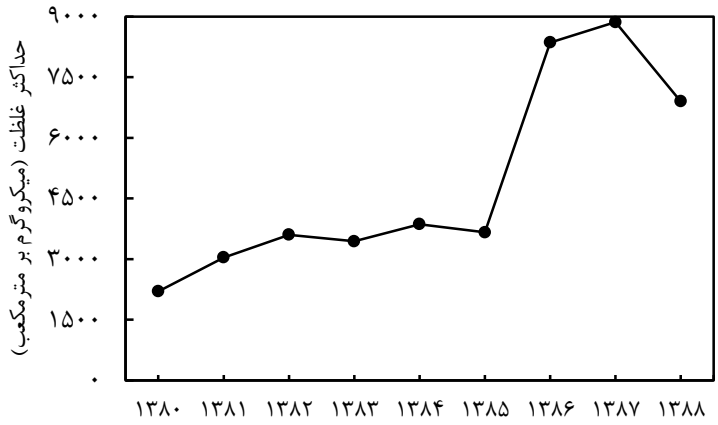


ب) افزایش غلظت

غلظت گردوخاک ازجمله شاخص‌هایی است که در یک دهه اخیر به‌شدت افزایش یافته است. بررسی آمارهای منتشر شده ازسوی اداره کل هواشناسی استان خوزستان نشان می‌دهد که در فاصله سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۷ میزان حداکثر غلظت گردوخاک از ۲۲۰۰ میکروگرم بر مترمکعب به ۸۸۶۰ میکروگرم بر مترمکعب رسیده است (شکل ۱۵). با توجه به این‌که میزان غلظت مجاز گردوخاک ۱۵۰ میکروگرم

بر مترمکعب است، بدیهی است که این میزان آلودگی با چه خطرات زیست‌محیطی همراه است (اداره کل هواشناسی استان خوزستان، ۱۳۹۴).

شکل ۱۵. تغییرات حداکثر غلظت گردوخاک در دوره ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۸ در شهر اهواز



ج) افزایش مدت زمان ماندگاری

مقایسه ویژگی توفان‌های گردوخاک در سال‌های مختلف نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر میزان ماندگاری و پایداری گردوخاک در استان خوزستان حدود چهار برابر افزایش یافته و میزان آلودگی هم تا مرز ۱۰۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب رسیده است. جدول ۹، ساعت ماندگاری توفان‌های گردوخاک را در دوره آماری ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ در ایستگاه اهواز نشان می‌دهد. طی ۱۰ سال اخیر (۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴) تعداد ۳۸۵ مورد توفان گردوخاک با ماندگاری کمتر از ۱۲ ساعت، ۴۱ مورد با ماندگاری بین ۱۲ تا ۲۴ ساعت، ۶۶ مورد با ماندگاری بین ۲۴ تا ۴۸ ساعت، ۲۱ مورد با ماندگاری بین ۴۸ تا ۷۲ ساعت و ۱۴ مورد نیز با ماندگاری بیش از ۷۲ ساعت در ایستگاه اهواز مشاهده شده است. این میزان فقط برای ساعات متوالی و بدون هیچ وقفه‌ای می‌باشد، در حالی‌که با احتساب وقفه‌های چندساعته، این آمار به بیش از ۵۰۰ ساعت در همان سال رسیده است. توفان‌های گردوخاک با منشأ داخلی بیشتر ماندگاری زیر ۱۲ ساعت دارند. علل اصلی این امر را می‌توان در اندازه قطر ذرات گردوخاک، وزن مخصوص آنها و همچنین شرایط آب‌وهوایی (رطوبت هوا، دمای هوا و چگالی هوا) جستجو نمود. هرچه قطر ذرات بیشتر و وزن مخصوص آنها نیز بیشتر باشد، وزن آنها بیشتر بوده و در نتیجه زودتر ته‌نشین شده و ماندگاری کمتری خواهند داشت. لازم به‌ذکر است که توفان‌های گردوخاک با ماندگاری چندروزه با منشأ خارج از کشور بوده و از نظر رسوبی بسیار ریزدانه‌تر هستند. ریزدانه بودن این ذرات به آنها این امکان را می‌دهد که مسافت‌های طولانی جابه‌جا شوند و به علت سبکی ساعت‌های طولانی در هوا معلق بمانند و درنهایت با تغییر شرایط آب‌وهوایی ته‌نشین شوند.

جدول ۹. ساعت ماندگاری گردوخاک در دوره آماری ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ در ایستگاه اهواز

سال	کمتر از ۱۲	۱۲-۲۴	۲۴-۴۸	۴۸-۷۲	بیشتر از ۷۲
۲۰۰۵	۴۵	۲	۷	۲	۱
۲۰۰۶	۲۸	۱	۵	۰	۰
۲۰۰۷	۳۰	۱	۲	۴	۲
۲۰۰۸	۵۴	۲	۱۰	۴	۶
۲۰۰۹	۵۰	۱۰	۹	۶	۲
۲۰۱۰	۴۸	۱	۱۱	۱	۱
۲۰۱۱	۴۱	۱۳	۹	۲	۰
۲۰۱۲	۳۹	۵	۸	۲	۲
۲۰۱۳	۳۳	۶	۴	۰	۰
۲۰۱۴	۱۷	۰	۱	۰	۰
جمع	**۳۸۵**	**۴۱**	**۶۶**	**۲۱**	**۱۴**

مأخذ: سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۹۴.

د) افزایش فاصله انتقال از ناحیه منشأ

در توفان‌های گردوخاک به‌دلیل ریز بودن ذرات نسبت به توفان‌های ماسه‌ای، جریان‌های رو به بالا می‌تواند این ذرات را به‌صورت معلق در هوا نگه داشته و تا مسافت‌های بسیار دور حمل نماید. ازاین‌رو در سال‌های اخیر که بیابان‌های حاصل از خشک شدن تالاب‌ها به کانون‌های تولید توفان‌های گردوخاک تبدیل شده‌اند، رسوبات ریزدانه رسی در بستر این کانون‌ها قابلیت انتقال تا مسافت‌های بسیار دور را دارند و علیرغم وجود موانع طبیعی نظیر رشته‌کوه‌های مرتفع زاگرس، به‌طور مکرر بخش‌های مرکزی و گاه شرقی کشور را تحت تأثیر قرار داده‌اند، به‌گونه‌ای که در مواردی از مجموع ۳۱ استان کشور، ۲۳ استان درگیر توفان‌های گردوخاک شده‌اند.

۱-۳. علل تشدید توفان‌های گردوخاک

اگرچه فراوانی توفان‌های گردوخاک روند افزایشی ثابتی را نشان نمی‌دهد، اما افزایش قابل ملاحظه شاخص‌هایی مانند غلظت، ماندگاری و فاصله حمل به‌روشنی گویای تشدید توفان‌های گردوخاک در دهه اخیر است. این تغییر تا حد زیادی ناشی از تغییر در مناطق منشأ این توفان‌ها بوده است. کانون بسیاری از توفان‌های گردوخاک در گذشته، صحراهای عربستان و شمال آفریقا بوده است. توفان‌های برخاسته از این مناطق به‌دلیل درشتی ذرات و نشست سریع، ماندگاری و قدرت انتقال کمتری داشته‌اند. اما بیش از یک دهه پیش، به‌دلیل تشدید تغییرات آب‌وهوایی و خشکسالی‌ها از یکسو و توسعه طرح‌های عمرانی و برداشت بی‌رویه از منابع آب ازسوی دیگر، بسیاری از تالاب‌ها و نواحی مرطوب موجود در بین‌النهرین رو

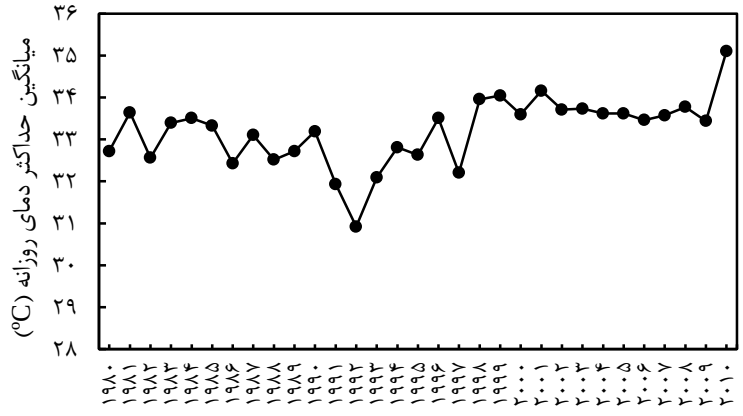
به خشکی نهاده و بیابان‌های کوچکی را ایجاد نموده است که منشأ بسیاری از توفان‌های گردوخاک در سال‌های اخیر کرده است. جنس رسوبات این مناطق از رسوبات رسی ریزدانه است که تا ارتفاع زیادی در جو بالا رفته و علاوه‌بر ماندگاری و غلظت زیاد، مسافت‌های بسیار زیادی انتقال می‌یابند.

در عرصه داخلی نیز تشدید تغییرات آب‌وهوایی در قالب خشکسالی‌های پی‌درپی، سبب افزایش دما و کاهش رطوبت سطح زمین شده است. این تغییرات در کنار بهره‌برداری از طرح‌های کلان آبی نظیر تونل‌های انتقال آب، احداث سدها و شبکه‌های آبیاری که به برداشت بی‌رویه و غیراصولی از منابع آب منجر شده، باعث کاهش سطوح آبی و مرطوب و از بین رفتن پوشش گیاهی در بسیاری از مناطق شده است که شکل‌گیری کانون‌های داخلی تولید گردوخاک را به‌دنبال داشته است. صرفنظر از اینکه هر یک از عوامل تغییر اقلیم و یا طرح‌های عمرانی در تشدید توفان‌های گردوخاک چه سهمی دارند، این عوامل سبب تغییر در سه پارامتر مؤثر در پیدایش کانون‌های تولید گردوخاک شده‌اند، که عبارتند از: دما، رطوبت و پوشش گیاهی. در ادامه توضیح مختصری در مورد هر عامل ارائه می‌گردد.

- **افزایش دمای سطح**

به‌طور کلی افزایش دمای زمین که به‌طور عمده ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای بوده، امری شناخته شده است. میزان این افزایش دما در مناطق مختلف، متفاوت و در نقاطی که با خشکسالی توأم شده بیشتر نمایان گشته است. این افزایش دما که اغلب با کاهش رطوبت به‌ویژه در نواحی خشک نیز همراه است، سبب از بین رفتن تدریجی پوشش گیاهی و در نهایت شکل‌گیری کانون‌های تولید گردوخاک می‌شود. بررسی آماری میانگین حداکثر دمای روزانه در ایستگاه اهواز در دوره ۳۰ ساله ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ نشان می‌دهد که از سال ۱۹۹۶ افزایش محسوسی در میانگین حداکثر دمای روزانه رخ داده است (شکل ۱۶).

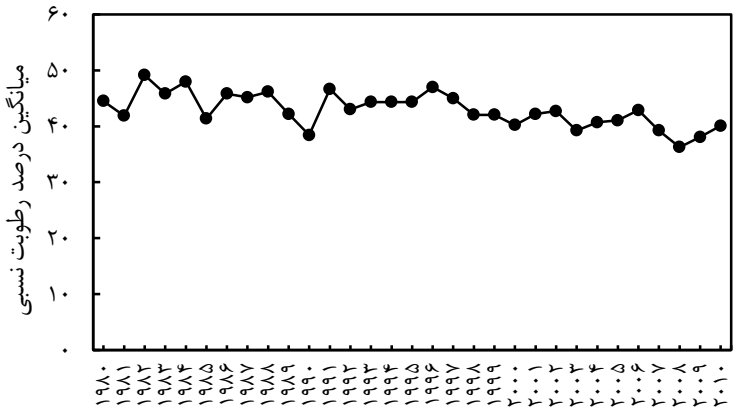
شکل ۱۶. میانگین حداکثر دمای روزانه در ایستگاه اهواز در دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰
(اداره کل هواشناسی استان خوزستان، ۱۳۹۴)



- **کاهش رطوبت سطح**

بررسی آماری میانگین رطوبت نسبی در ایستگاه اهواز در دوره ۳۰ ساله ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ نشان می‌دهد که میزان رطوبت نیز از سال ۱۹۹۶ به شکل محسوسی کاهش یافته است (شکل ۱۷). این کاهش رطوبت که در غالب کاهش سطوح آبی و خشک شدن پهنه‌های مرطوب نمایان گشته است، نقش مهمی در گسترش بیابان‌ها و شکل‌گیری کانون‌های تولید گردوخاک دارد. بخش زیادی از کانون‌های داخلی که در سال‌های اخیر شکل گرفته‌اند، شامل بخش‌های خشک شده تالاب هورالعظیم، شادگان و سایر آبگیرها و عرصه‌های مرطوب در جنوب و جنوب شرق استان می‌باشد.

شکل ۱۷. میانگین حداکثر رطوبت نسبی در ایستگاه اهواز در دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰
(اداره کل هواشناسی استان خوزستان، ۱۳۹۴)



- **از بین رفتن پوشش گیاهی**

افزایش دما و کاهش رطوبت در هر ناحیه به‌طور طبیعی با از بین رفتن پوشش گیاهی همراه خواهد بود. با توجه به این‌که پوشش گیاهی نقش مهمی در تثبیت خاک و جلوگیری از فرسایش دارد، از بین رفتن این پوشش نقش قابل ملاحظه‌ای در بیابان‌زایی و تشکیل کانون‌های گردوخاک دارد. از بین رفتن پوشش گیاهی در حاشیه و بخش‌های خشک شده تالاب‌هایی چون هورالعظیم، شادگان و سایر آبگیرها و مناطق مرطوب از مهمترین دلایل گسترش کانون‌های داخلی در سال‌های اخیر است.

۲-۳. ترکیب شیمیایی گردوخاک‌ها

با مطالعه ترکیب شیمیایی گردوخاک‌ها علاوه‌بر تشخیص اثر آنها بر سلامتی انسان‌ها، تاحدی نیز می‌توان در مورد منشأ آنها اطلاعات کسب کرد. جهت نیل به این امر نتایج بررسی ترکیب شیمیایی توفان گردوخاک ۳ بهمن ۱۳۹۳ ارائه می‌گردد (غریب‌رضا و لک، ۱۳۹۴). توفان گردوخاک مذکور یکی از

شدیدترین توفان‌ها بوده است که طی آن غلظت گردوخاک در شهرهای اهواز و ماهشهر به‌ترتیب به ۵۴ و ۶۶ برابر حد استاندارد رسیده است.

فراوانی عناصر اصلی در گردوخاک‌ها در مطالعه مذکور برای کلسیم، آهن، آلومینیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم به‌ترتیب برابر ۲۲/۷، ۴/۷۱، ۴/۰۸، ۲/۴۲، ۲/۳۷ و ۰/۷۹ درصد به‌دست آمده است. نکته مهم اینجاست که غلظت فلزات سنگین کادمیوم، سلنیوم، نیکل و کرم دارای غلظتی بسیار فراتر از حد مجاز برای سلامت انسان‌ها می‌باشد. جدول ۱۰ غلظت برخی از فلزات سنگین را در مقایسه با حد مجاز استاندارد خاک نشان می‌دهد.

جدول ۱۰. غلظت برخی از فلزات سنگین در گردوخاک‌ها و حد مجاز استاندارد

عنصر	غلظت	حد استاندارد
کادمیوم	۵	۱/۴
کرم	۱۱۲	۶۴
نیکل	۸۴/۶	۵۰
سلنیوم	۳۵/۵	۱
باریم	۲۱۳	۷۵۰
برلیوم	۰/۹	۵
کبالت	۱۳	۲۰
مس	۱۵/۲	۶۳
سرب	۲۰	۷۰
اورانیم	۲۰	۲۳
وانادیوم	۹۳	۱۳۰
روی	۶۴/۳	۲۰۰

مأخذ: غریب‌رضا و لک، ۱۳۹۴.

از بین عناصر نیکل و کادمیوم، نشان از آلودگی شدید خاک‌های مناطق برخاستگاه به آلودگی‌های نفتی دارد. همچنین با افزایش سرعت باد در توفان‌های گردوخاک، ترکیب آن هرچه بیشتر به عناصر فلزی سمی آلوده‌تر شده و آلودگی‌های نفتی بیشتری به آن اضافه می‌شود. خاک‌های اراضی جنوب عراق، کویت و شمال عربستان و تا اندازه‌ای خاک‌های غرب استان خوزستان به‌ویژه در جنگ‌های ایران-عراق و عراق-کویت بین سال‌های ۱۹۸۱ تا ۱۹۸۹ به مواد نفتی آغشته شده‌اند. غلظت بیش از اندازه عنصر سلنیوم نیز می‌تواند حاصل از پالایش مواد نفتی و پتروشیمی و احتراق مواد سوختی مثل نفت و زغال باشد. این عنصر به‌راحتی در اثر باران، از خاک‌های آلوده به مواد نفتی زهکش شده و در تالاب‌ها تجمع می‌یابد (غریب‌رضا و لک، ۱۳۹۴).

با توجه به مطالب ذکر شده در مورد ترکیب شیمیایی گردوخاک‌ها، به‌خصوص فلزات سنگین موجود در آنها، انتظار می‌رود که مخاطرات آنها در مورد تأثیر بر سلامتی انسان‌ها، جانوران و گیاهان، چشمگیر باشد. اورژانسی شدن بسیاری از شهروندان هنگام وقوع توفان‌های گردوخاک مصداق تأیید این موضوع است. از جنبه دیگر بررسی آثار بلندمدت گردوخاک‌های مذکور بر سلامت انسان‌ها، جانوران و گیاهان نیز قابل بررسی است.

۳-۳. روند شدت توفان‌های گردوخاک در غرب کشور طی بیست سال اخیر

با وجود پرآب‌ترین رودخانه‌های کشور در استان خوزستان که باعث رونق گرفتن کشاورزی در مناطق مجاور این رودخانه‌ها شده است، شرایط خشکسالی دهه اخیر و کاهش نزولات آسمانی، سدسازی روی رودخانه‌ها و مهار آب آنها و کاهش حقابه مناطق پایین‌دست باعث خشک و کم‌آب شدن تالاب‌های طبیعی استان، تبدیل زمین‌های کشاورزی به زمین‌های خشک و بیابانی و در نتیجه ایجاد و توسعه کانون‌های تولید گردوخاک در استان خوزستان شده است.

شاخص خشکسالی SPI[1] یکی از شاخص‌های پیشنهادی سازمان جهانی هواشناسی است. این شاخص توسط مک‌کی و همکاران به‌منظور تعریف و پایش خشکسالی و تعیین کمبود بارش برای مقیاس‌های زمانی مختلف پیشنهاد شده است (McKee *et al.*, 1993). این شاخص به تحلیلگر امکان می‌دهد تا تعداد وقایع خشکسالی و ترسالی اتفاق افتاده را برای هر گام زمانی دلخواه تعریف و شناسایی کند. شاخص SPI یکی از شاخص‌های اساسی در مطالعه تغییر بارش حول مرکز به‌شمار می‌آید. جدول ۱۱ طبقه‌بندی شدت خشکسالی را براساس حدود این شاخص نشان می‌دهد.

جدول ۱۱. طبقه‌بندی خشکسالی براساس شاخص SPI

طبقه‌بندی خشکسالی	حدود شاخص
بی‌نهایت مرطوب	۲ و بیشتر
مرطوب شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹
مرطوب متوسط	۱ تا ۱/۴۹
مرطوب ملایم	۰/۵ تا ۰/۹۹
نرمال	۰/۴۹ تا ۰/۴۹-
خشکسالی ملایم	۰/۵- تا ۰/۹۹-
خشکسالی متوسط	۱- تا ۱/۴۹-
خشکسالی شدید	۱/۵- تا ۱/۹۹-
خشکسالی بسیار شدید	۲- و کمتر

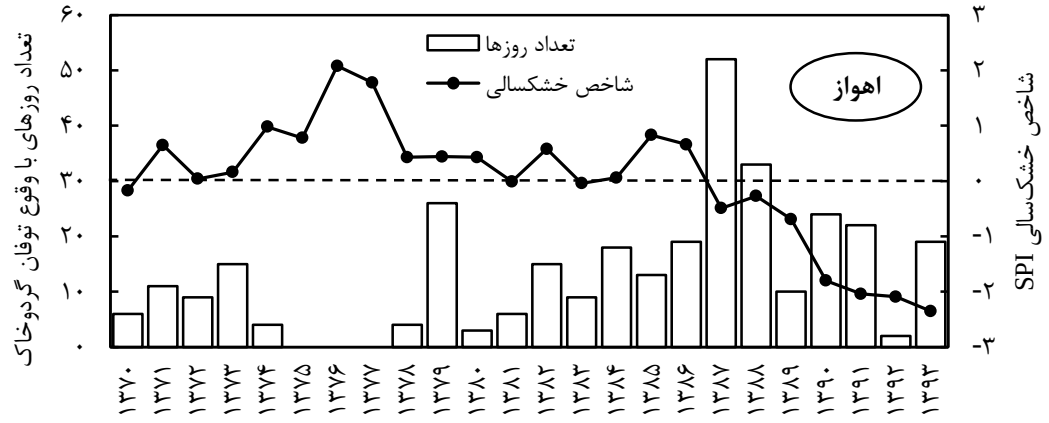
Source: *McKee et al., 1993*

برای شناسایی رابطه بین شدت توفان‌های گردوخاک و شدت خشکسالی‌ها در استان خوزستان از داده‌های ثبت شده توفان گردوخاک در ۸ ایستگاه اهواز، آبادان، بندر ماهشهر، شوشتر، بستان، مسجدسلیمان، دزفول و امیدیه استفاده شده است. بر این اساس، شکل‌های ۱۸ تا ۲۵ ترسیم شده است. در این شکل‌ها برای هر ایستگاه، تعداد روزهای با وقوع توفان گردوخاک (روزهایی که در آنها دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر رسیده است) و همچنین شاخص خشکسالی SPI برای استان

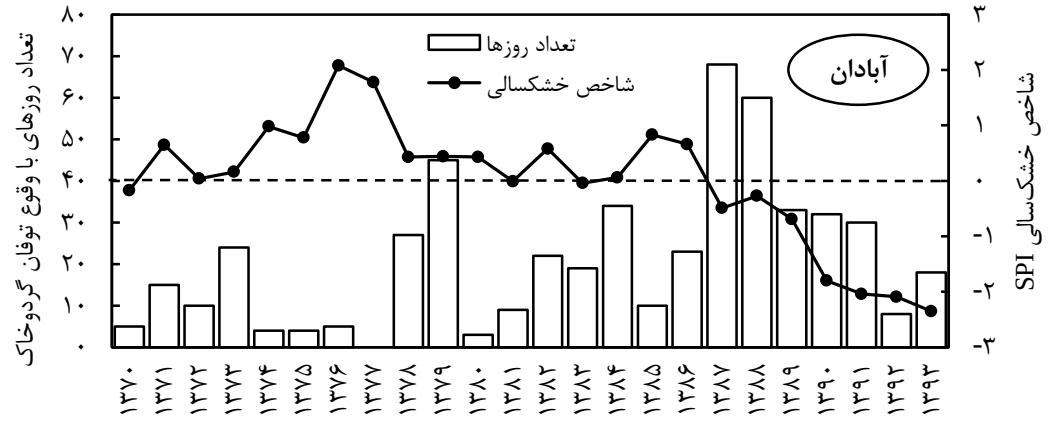
1. Standardized Precipitation Index.

خوزستان از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۳ ارائه شده است. همان‌طور که این شکل‌ها نشان می‌دهند، کاملاً مشخص است که تقریباً در تمام این ایستگاه‌ها، زمانی که شاخص SPI، منفی می‌شود، یا به‌عبارتی دیگر خشکسالی اتفاق می‌افتد، به‌تبع آن فراوانی تعداد وقوع توفان‌های گردوخاک نیز افزایش می‌یابد. این روند در ایستگاه‌هایی مانند شوشتر، بستان و دزفول کاملاً قابل مشاهده است.

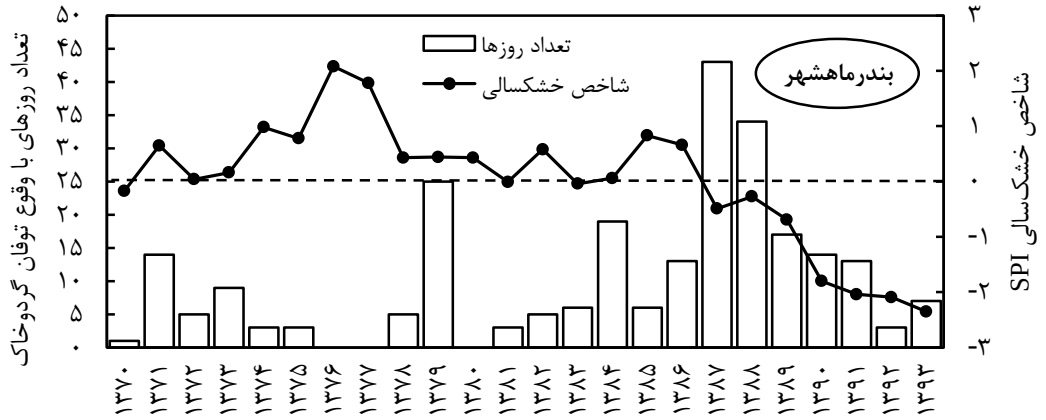
شکل ۱۸. تعداد روزهای توأم با توفان گردوخاک در اهواز و شاخص خشکسالی



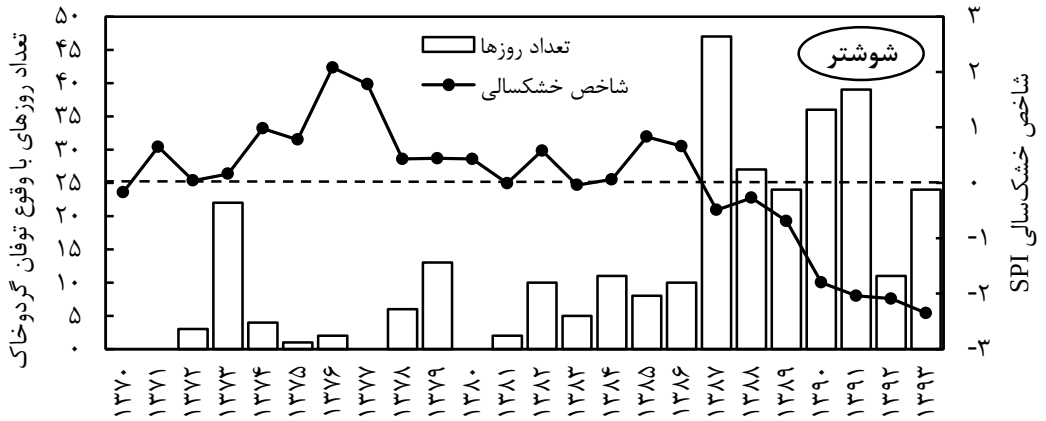
شکل ۱۹. تعداد روزهای توأم با توفان گردوخاک در آبادان و شاخص خشکسالی



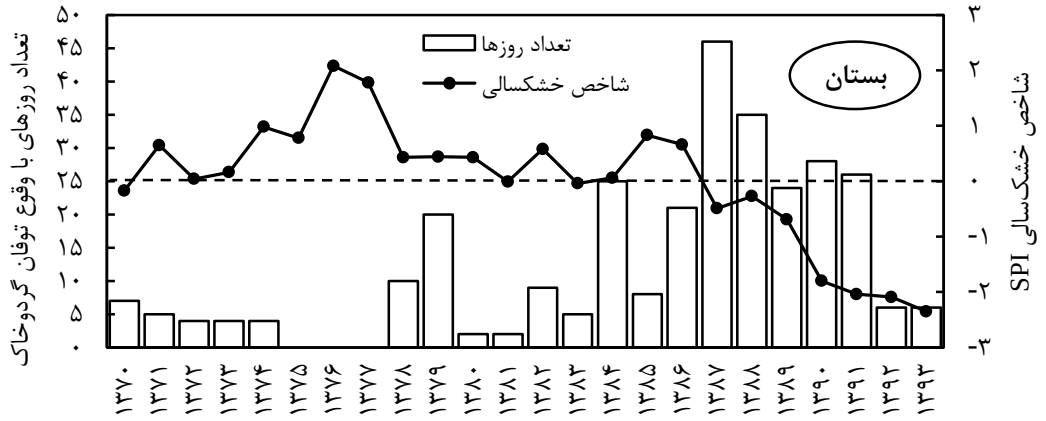
شکل ۲۰. تعداد روزهای توأم با توفان گردوخاک در بندر ماهشهر و شاخص خشکسالی



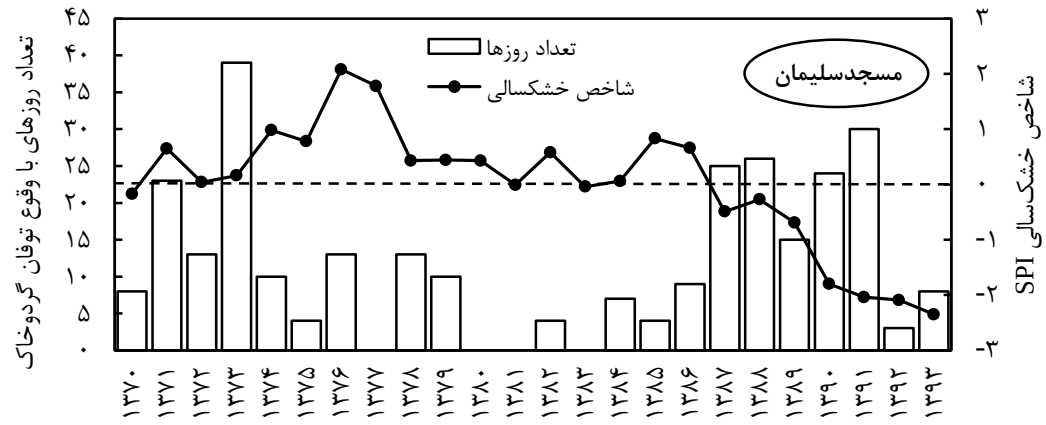
شکل ۲۱. تعداد روزهای توأم با توفان گردوخاک در شوشتر و شاخص خشکسالی



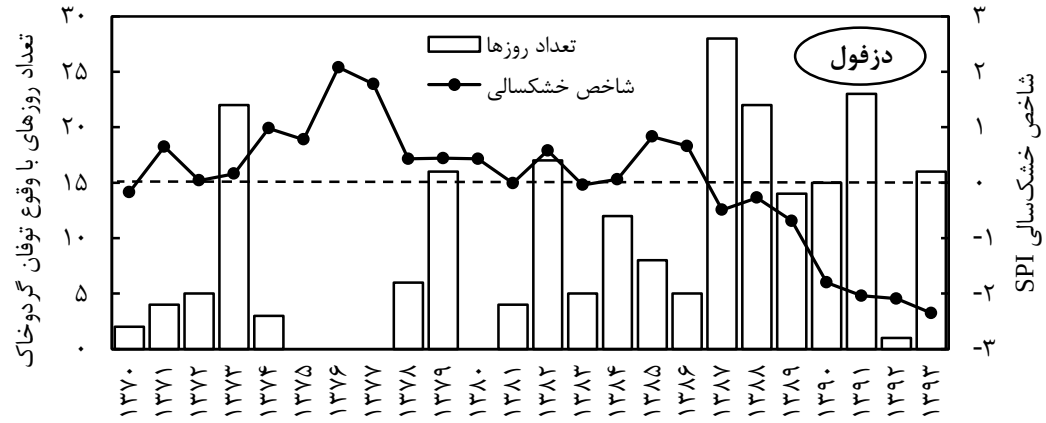
شکل ۲۲. تعداد روزهای توأم با توفان گردوخاک در بستان و شاخص خشکسالی



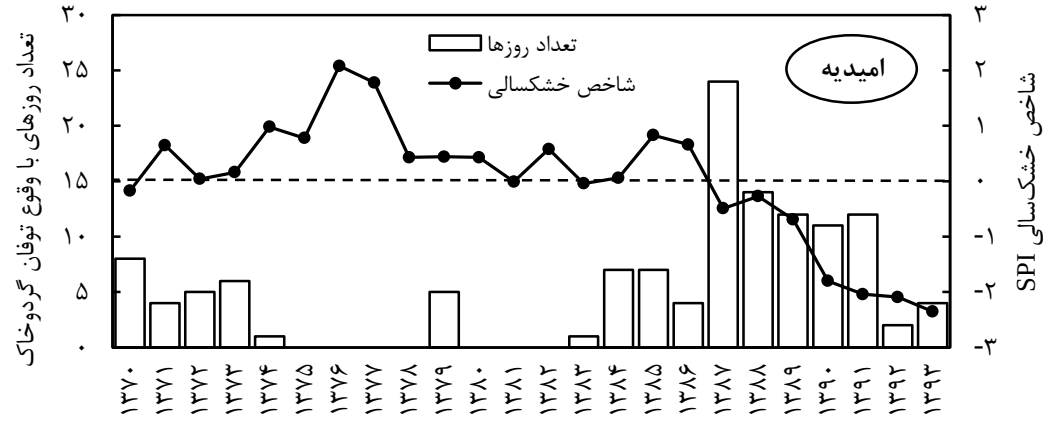
شکل ۲۳. تعداد روزهای توأم با توفان گردوخاک در مسجدسلیمان و شاخص خشکسالی



شکل ۲۴. تعداد روزهای توأم با توفان گردوخاک در دزفول و شاخص خشکسالی



شکل ۲۵. تعداد روزهای توأم با توفان گردوخاک در امیدیه و شاخص خشکسالی



۴-۳. کانون‌های خارجی شناسایی شده منشأ تولید گردوخاک

هر چند بیشتر توفان‌های گردوخاک که استان‌های غربی کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهند، منشأ خارجی دارند، ولی در سال‌های اخیر نسبت توفان‌های گردوخاک با منشأ داخلی به توفان‌های گردوخاک با منشأ خارجی در استان خوزستان تغییر یافته و توفان‌های گردوخاک با منشأ داخلی افزایش یافته است. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی درخصوص شناسایی کانون‌های خارجی تولید گردوخاک انجام شده است. بیشتر این مطالعات برپایه داده‌های ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور انجام شده است. با تکیه بر این امر، کانون‌های خارجی اصلی توفان‌های گردوخاک عبارتند از (مرکز ملی گردوخاک، ۱۳۹۵؛ سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۹۴):

منطقه ۱ ـ شمال‌غرب عراق و شرق سوریه، دو طرف رودخانه فرات

منطقه ۲ ـ تالاب‌ها و زمین‌های خشک‌شده جنوب عراق (بین‌النهرین)

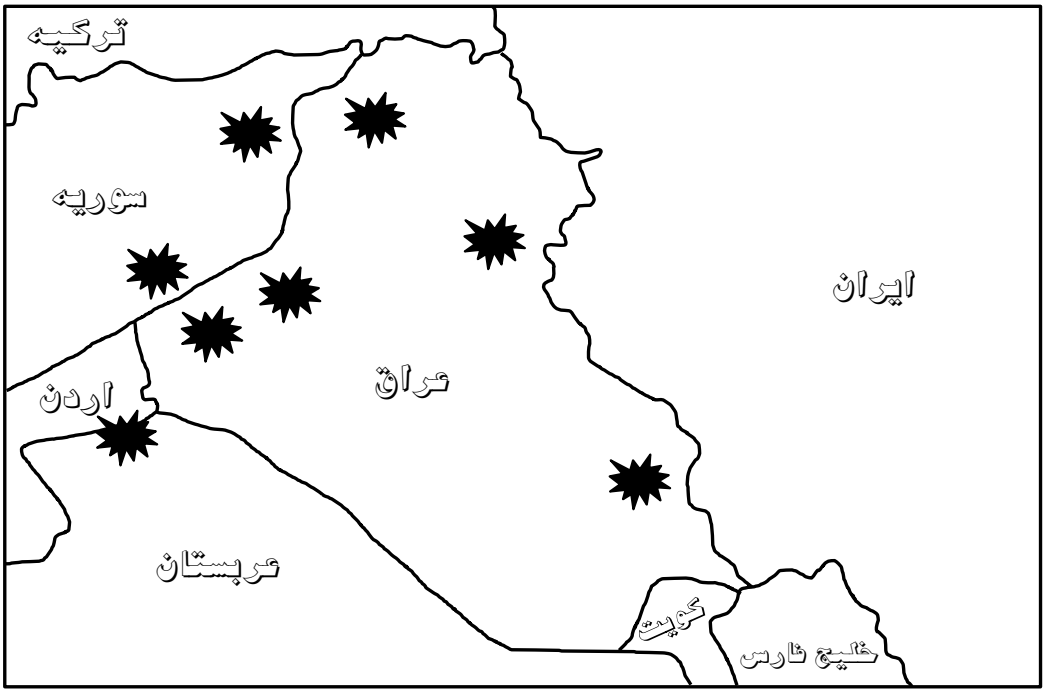
منطقه ۳ ـ زمین‌های اطراف و شمال دریاچه تارتار در عراق

منطقه ۴ ـ زمین‌های غرب عراق (استان الانبار) و شرق سوریه (استان حمص)

منطقه ۵ ـ مناطق مرزی شمال عربستان و شرق اردن

این مناطق در شکل ۲۶ نشان داده شده‌اند.

شکل ۲۶. کانون‌های اصلی منشأ تولید توفان‌های گردوخاک در خارج از کشور



۵-۳. کانون‌های داخلی شناسایی شده منشأ تولید گردوخاک در استان خوزستان

کانون‌های داخلی که منشأ توفان‌های گردوخاک در خوزستان هستند، با مساحتی حدود ۳۵۰,۰۰۰ هکتار، به‌طور عمده از شرق و جنوب شرق اهواز تا خاور هندیجان در جنوب شرق استان، گسترش دارند. علاوه‌بر این در غرب استان نیز بخش‌های خشک‌شده تالاب هورالعظیم در غرب هویزه و نواحی پیرامون آن و همچنین بخش‌هایی از شمال خرمشهر نیز جزء مناطق منشأ می‌باشند. در بیشتر این پهنه‌ها کاهش رطوبت سطحی و شور شدن زمین و در نتیجه نفوذ آب‌های زیرزمینی به‌خوبی دیده می‌شود. نفوذ آب‌های زیرزمینی و تبخیر آن در اثر خاصیت موئینگی سبب تبلور نمک در فضای خالی بین ذرات خاک و متلاشی شدن بافت خاک شده است. مناطق مذکور در قالب ۷ محدوده (شکل ۲۷) به‌شرح زیر قابل شناسایی هستند (مرکز ملی گردوخاک، ۱۳۹۵؛ سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۹۴):

محدوده ۱ ـ ناحیه جنوب غرب هویزه

این محدوده بخش‌های خشک شده تالاب هورالعظیم و نواحی پیرامون آن را شامل می‌شود که در مجموع حدود ۵۳,۱۰۳ هکتار مساحت دارد.

محدوده ۲ ـ ناحیه شمال شرق خرمشهر

این مناطق دشت‌های آبرفتی مسطح و دانه‌ریز هستند که فاقد پوشش گیاهی بوده و شوری زمین در آنها بالاست. مساحت این مناطق در مجموع حدود ۲۸,۰۳۰ هکتار است.

محدوده ۳ ـ ناحیه شرق اهواز

این ناحیه در برگیرنده پلایای خشک‌شده مالح و آبگیرهای رودخانه کوپال است که طی خشکسالی‌های اخیر و کاهش آب ورودی خشک شده‌اند و به کانون تولید گردوخاک تبدیل شده‌اند. آبگیر مالح توسط سیلاب‌های کارون، آبراهه‌های محلی و رودخانه کوپال تغذیه می‌شود. خشک‌شدن بوته‌زارهای حاشیه شرقی این آبگیر نقش مهمی در شکل‌گیری کانون تولید گردوخاک دارد. شدت فرسایش و برداشت خاک در آبگیرهای خشک‌شده انتهای کوپال که در شرق مالح قرار دارند، بیشتر است و عمق برداشت گاه به ۳ تا ۴ سانتیمتر می‌رسد. این بخش‌ها به‌صورت کفه‌های رسی وسیعی هستند که وجود فسیل‌های دوکفه‌ای و شکم‌پایان در بخش‌های فرسایش‌یافته آنها نشانه محیط‌های تالابی گذشته است. با توجه به این‌که درصد کمی ماسه نیز همراه نهشته‌های دانه‌ریز و رسی این پهنه‌ها وجود دارد، پس از حمل بخش‌های دانه‌ریز توسط باد، بخش‌های ماسه‌ای و دانه‌درشت‌تر سبب شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌بادی کوچکی شده‌اند که با روند گسترش فعلی، در نهایت به شکل پهنه‌های ماسه‌بادی ظاهر شده‌اند. این عرصه‌ها تقریباً عاری از هرگونه پوشش گیاهی هستند و اثر فرسایش باد به‌صورت خطواره‌هایی در راستای شمال غرب – جنوب شرق دیده می‌شود. مساحت این مناطق در مجموع در حدود ۱۵,۶۶۰ هکتار است.

محدوده ۴ ـ ناحیه جنوب و جنوب شرق اهواز

این محدوده، بخش‌هایی از غرب نهر مالح را در جنوب اهواز تا نواحی غرب جراحی و رامشیر را دربرمی‌گیرد. این پهنه گسترش قابل‌توجهی دارد و شامل مجموعه‌ای از آبگیرهای خشک شده است که در غرب مالح، انتهای رودخانه کوپال و انتهای برخی آبراهه‌های فصلی در پهلوی جنوبی تاقدیس مارون قرار دارند. این پهنه‌ها نیز به‌صورت کفه‌های رسی وسیع هستند. بخش‌های وسیعی از این محدوده را نیز به‌ویژه در غرب رودخانه جراحی، زمین‌های کشاورزی دیم تشکیل می‌دهد که به‌دلیل خشکسالی‌های اخیر رها شده و به‌صورت کانون‌های تولید گردوخاک تبدیل شده‌اند. مساحت این مناطق در مجموع حدود ۱۱۲,۶۳۶ هکتار است.

محدوده ۵ ـ منطقه بندر امام- امیدیه

این محدوده در برگیرنده کفه‌های رسی بسیار وسیع است که به‌طور عمده تحت تأثیر سیلاب‌های رودخانه جراحی قرار داشته است. در برخی از این مناطق نیز بوته‌زارهای حاشیه این آبگیرها در حال خشک شدن و تخریب هستند. آثار برداشت در این پهنه‌ها بسیار مشهود است و عمق برداشت در برخی نقاط به ۴ تا ۵ سانتیمتر می‌رسد. اراضی کشاورزی نیز به‌صورت پراکنده در این محدوده دیده می‌شود. شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌بادی نیز قابل مشاهده است. مساحت این مناطق حدود ۸۸,۱۷۳ هکتار است.

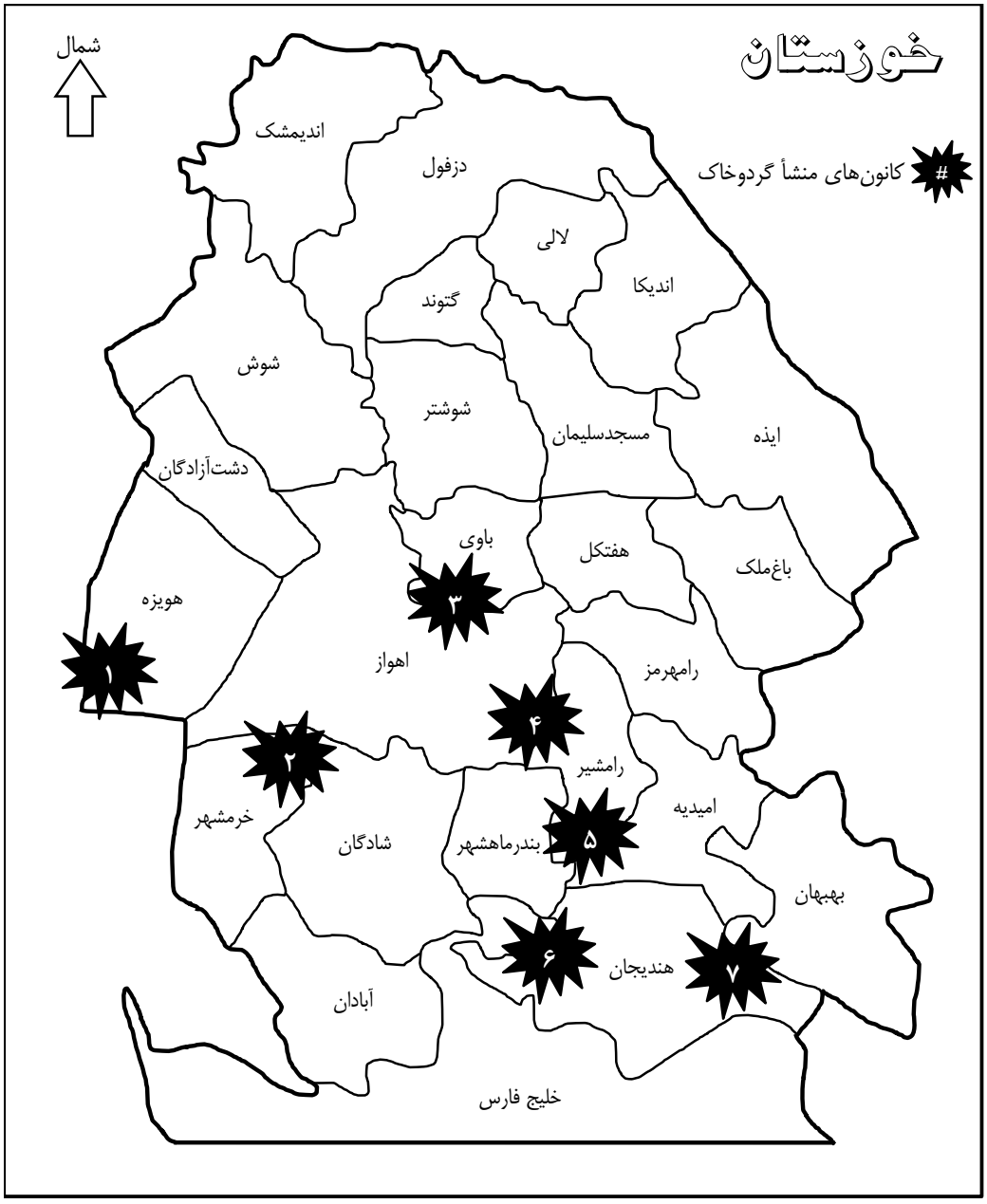
محدوده ۶ ـ منطقه ماهشهر-هندیجان

این محدوده نیز در برگیرنده پهنه‌های رسی وسیع و فاقد پوشش گیاهی است و نشانه‌های فسیل‌ها و بخش‌های فرسایش یافته، نشان‌دهنده تالابی بودن آن در گذشته است. این محدوده نیز همانند سایر آبگیرهای خشک شده دارای فرسایش شدید با تشکیل و گسترش تپه‌های کوچک ماسه‌بادی است. مساحت این مناطق در مجموع حدود ۳۳,۴۵۴ هکتار است.

محدوده ۷ ـ منطقه شرق هندیجان

این محدوده شامل پهنه‌های رسی است که در شرق رودخانه زهره شکل گرفته‌اند. این پهنه‌ها بیشتر توسط آبراهه‌های فصلی که از ارتفاعات رگ‌سفید سرچشمه می‌گیرند، تغذیه می‌شود. خشکسالی‌های متمادی در سال‌های گذشته و کاهش رطوبت سطحی سبب تبدیل این عرصه‌ها به کانون‌های گردوخاک شده است. مساحت این مناطق در مجموع حدود ۱۸,۱۹۵ هکتار است.

شکل ۲۷. کانون‌های منشأ تولید گردوخاک شناسایی شده در استان خوزستان



۶-۳. شرایط تشکیل توفان‌های گردوخاک در استان خوزستان

به‌طور معمول توفان‌های گردوخاک خوزستان به دو صورت گسترده و محلی می‌باشند. در حالت اول به‌علت ایجاد گرادیان فشاری مناسب در مناطق غربی و جنوبی کشور عراق، توفان‌های گردوخاک، تولید، گسترش و وارد کشور ایران می‌شوند. توفان‌های گردوخاک غلیظ با شرایط مساعد صعود، گاهی تا مناطق مرکزی ایران نیز نفوذ کرده و باعث کاهش دید افقی شهرهای فلات مرکزی ایران می‌شوند. این توده‌های گردوخاک یا در جلوی جبهه سرد و یا در پشت آن تشکیل شده و به‌طور معمول از شدت و گستردگی

بالایی برخوردار هستند. غالباً ورود سامانه‌های دینامیک و بارش‌زا به کشور عراق در صورت پایین بودن رطوبت و بارش، شرایط مناسبی برای تولید توفان‌های گردوخاک وسیع و گسترده ایجاد می‌کنند.

وجود گرادیان شدید فشاری روی صحراهای مرزی عراق و سوریه باعث ایجاد وزش بادهای نسبتاً شدید تا شدید شده و این خود عامل مؤثری در برخاستن توفان‌های گردوخاک در منطقه می‌باشد. علاوه‌بر این به‌علت وجود شرایط ناپایدار جوی و وجود یک سامانه دینامیکی در منطقه که باعث صعود هوا به لایه‌های بالاتر جو می‌شود، توفان گردوخاک علاوه‌بر حرکت افقی در سطح زمین، به‌صورت عمودی نیز رشد کرده و گاهی تا ارتفاع ۵۰۰۰ متری در جو زمین صعود کرده و چنین عاملی باعث می‌شود که در هنگام ورود این توفان به مناطق مختلف کشور ایران، زمان زیادی برای ته‌نشین شدن ذرات صرف شود.

در توفان‌های گردوخاک محلی خوزستان به‌طور معمول هم‌زمان با ورود یک سامانه بارشی و کاملاً دینامیک به استان خوزستان به‌علت قرار گرفتن مرکز کم‌فشار سطح زمین در نزدیکی مرزهای خوزستان و در کشور عراق، جهت بادهای عبوری از روی خوزستان به جنوب شرقی- جنوبی تبدیل شده و به‌علت سرعت بالای وزش این بادها و عبور از روی چشمه‌های گردوخاک، توفان‌های گردوخاک ابتدا روی شهر اهواز و سپس روی مناطق غربی و شمالی استان تشکیل خواهد شد. در مواردی نیز گردوخاک‌های مذکور وارد استان‌های لرستان، ایلام و کرمانشاه شده و باعث کاهش دید افقی در این مناطق شده‌اند. به‌طور معمول در چند سال گذشته، هم‌زمانی وقوع توفان‌های گردوخاک غلیظ خوزستان با ورود سامانه‌های دینامیک و بارش‌زا با رطوبت مناسب و بارش پیش‌بینی شده بسیار خوب توسط مدل‌های هواشناسی، باعث کاهش دید میزان بارش این سامانه‌ها شده است. علت این پدیده جنوبی شدن جریان‌ها و وزش بادهای شدید روی کانون‌های استان و در نتیجه تولید توفان‌های گردوخاک غلیظ می‌باشد. به‌علت صعود گردوخاک‌های غلیظ به لایه‌های بالاتر جو و ورود آن به درون توده ابر، بارندگی قطع شده یا به‌مقدار بسیار زیاد کاهش می‌یابد. در نتیجه خشکسالی و تولید گردوخاک‌ها باعث عدم بارش مناسب شده و کاهش یا عدم بارندگی باعث خشکسالی و توسعه کانون‌های منشأ گردوخاک و ایجاد توفان‌های گردوخاک در استان خوزستان می‌شود.

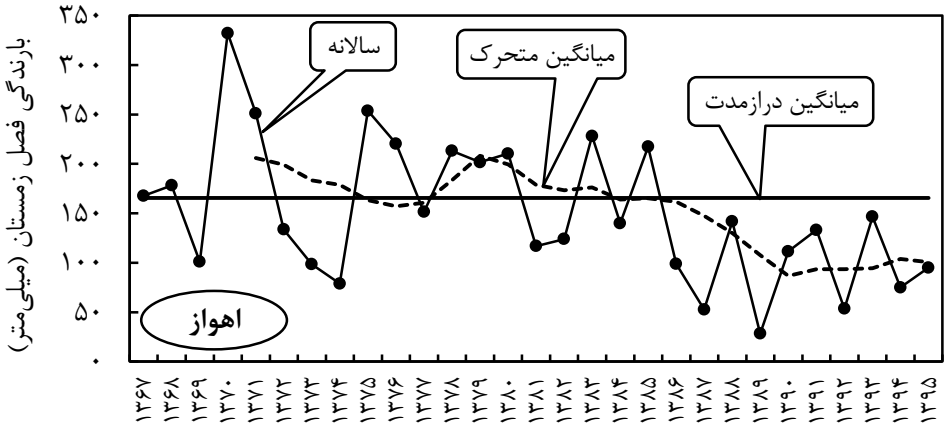
تفاوت توفان‌های گردوخاک با منشأ عراق با توفان‌های گردوخاک محلی در ماندگاری و قطر ذرات و غلظت آنها می‌باشد. به‌علت قطر کم ذرات گردوخاک با منشأ عراق، ماندگاری آنها بالا بوده و حتی تا ۷۲ ساعت هم می‌تواند باعث کاهش دید افقی در مناطق مختلف ایران شود. در صورتی‌که گردوخاک‌های محلی به‌طور معمول به‌علت وزش بادهای شدید در منطقه چشمه ایجاد می‌شوند و به‌علت بزرگ‌تر بودن اندازه قطر این ذرات نسبت به گردوخاک‌های ورودی از کشور عراق، با کاهش سرعت باد به‌سرعت ته‌نشین شده و دارای زمان ماندگاری کوتاهی هستند. همچنین غلظت گردوخاک‌های ورودی از کشور عراق که معمولاً برحسب میکروگرم بر مترمکعب بیان می‌شود، نسبت به گردوخاک‌های محلی پایین‌تر

می‌باشد. اما غلظت توفان‌های گردوخاک محلی در اکثر موارد بسیار بالا می‌باشد، به‌گونه‌ای که غلظت ۱۰,۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب در شهر اهواز نیز ثبت شده است که حدود ۶۶ برابر حد مجاز می‌باشد.

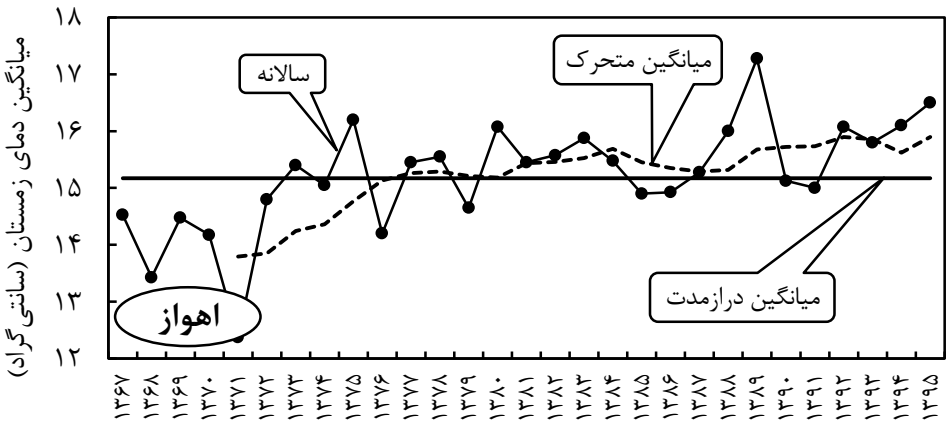
۷-۳. رابطه بین خشکسالی‌ها و توفان‌های گردوخاک در غرب و جنوب غرب کشور

همان‌طور که در قسمت‌های قبل گزارش اشاره شد، علل اصلی توفان‌های گردوخاک غرب و جنوب غرب کشور وقوع خشکسالی‌ها و مهار آب رودخانه‌ها در این قسمت از کشور می‌باشد. پدیده توفان‌های گردوخاک از قدیم‌الایام در این قسمت از کشور سابقه داشته و بیشتر آنها در فصول خشک و کم‌آبی (تابستان و ابتدای پاییز) اتفاق می‌افتاده است. آنچه قابل توجه بوده و باید مورد تحلیل قرار گیرد، افزایش فراوانی و شدت وقوع این توفان‌ها حتی در فصول تر و پرآبی (زمستان و ابتدای بهار) می‌باشد. به‌عنوان مصداق می‌توان به توفان‌های گردوخاک بهمن‌ماه سال ۱۳۹۵ اشاره نمود که طی آنها مشکلات عدیده‌ای برای تأسیسات انتقال برق و تصفیه‌خانه‌های آب ایجاد شد. در این مواقع از سال قاعدتاً به‌دلیل بارش‌ها و رطوبت سطح زمین، انتظار کمتری برای وقوع توفان‌های گردوخاک می‌رود. شکل‌های ۲۸ تا ۳۷ به‌ترتیب مقادیر مجموع بارش در فصل زمستان و میانگین دمای فصل زمستان را به‌ترتیب برای ایستگاه‌های اهواز، ماهشهر، آبادان، بستان و دهلران برای سال‌های مختلف نشان می‌دهد. در هر کدام از این شکل‌ها مجموع بارندگی و متوسط دمای فصل پرآبی (زمستان و ابتدای بهار) به‌همراه مقادیر مربوط به متوسط بلندمدت و میانگین متحرک ۵ ساله، به‌تصویر کشیده شده است.

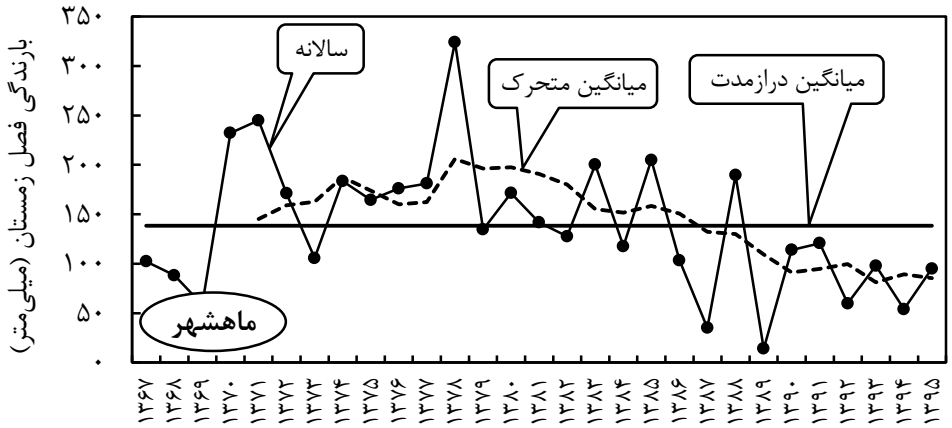
شکل ۲۸. مقادیر مجموع بارش فصل زمستان در سال‌های مختلف در ایستگاه اهواز



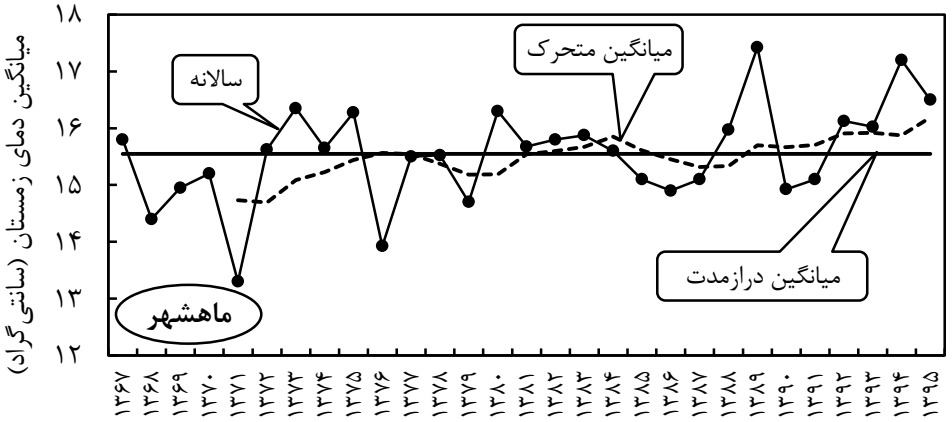
شکل ۲۹. مقادیر میانگین دمای فصل زمستان در سال‌های مختلف در ایستگاه اهواز



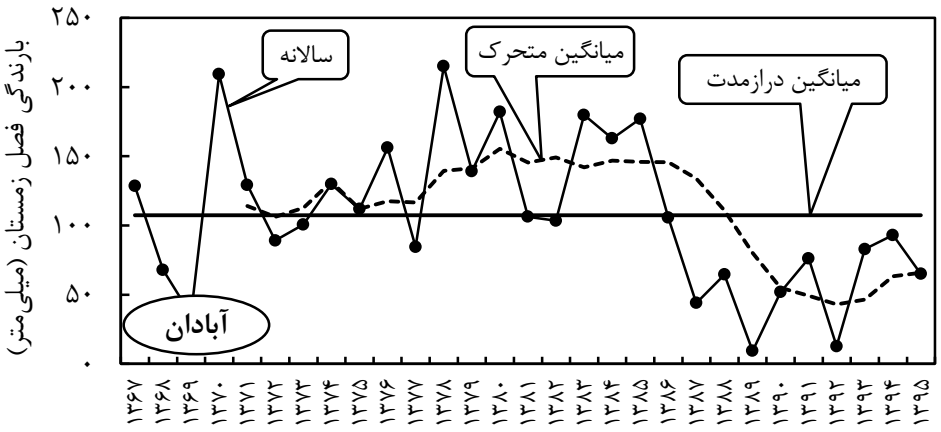
شکل ۳۰. مقادیر مجموع بارش فصل زمستان در سال‌های مختلف در ایستگاه ماهشهر



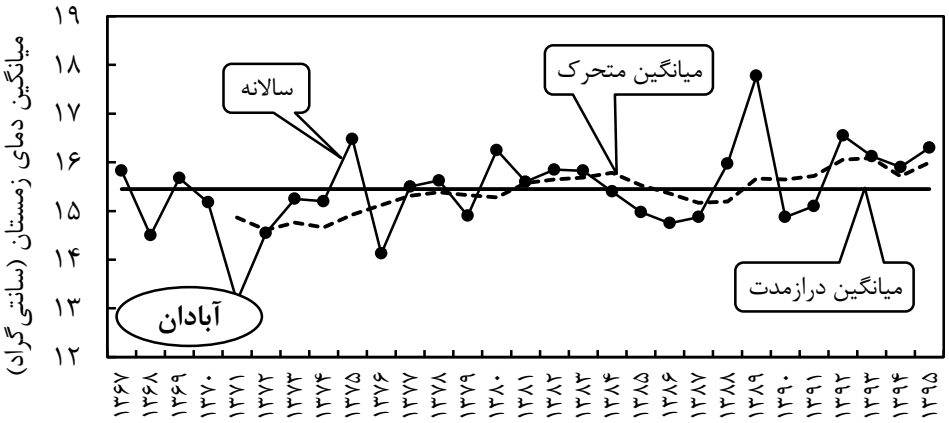
شکل ۳۱. مقادیر میانگین دمای فصل زمستان در سال‌های مختلف در ایستگاه ماهشهر



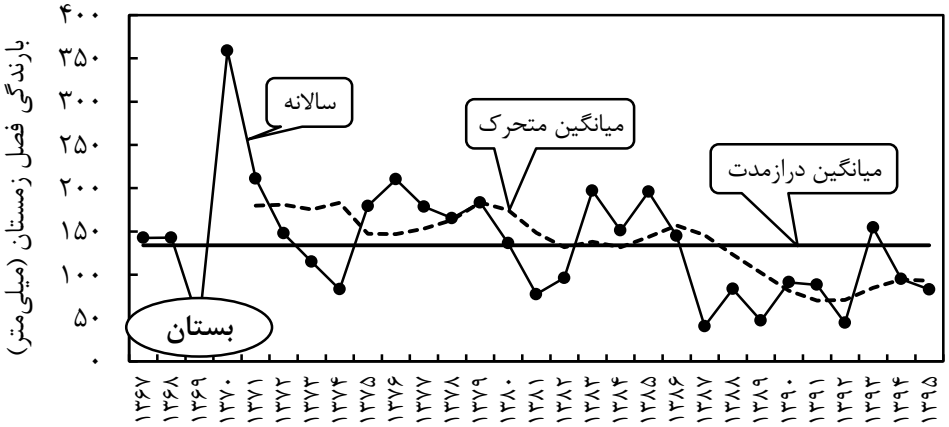
شکل ۳۲. مقادیر مجموع بارش فصل زمستان در سال‌های مختلف در ایستگاه آبادان



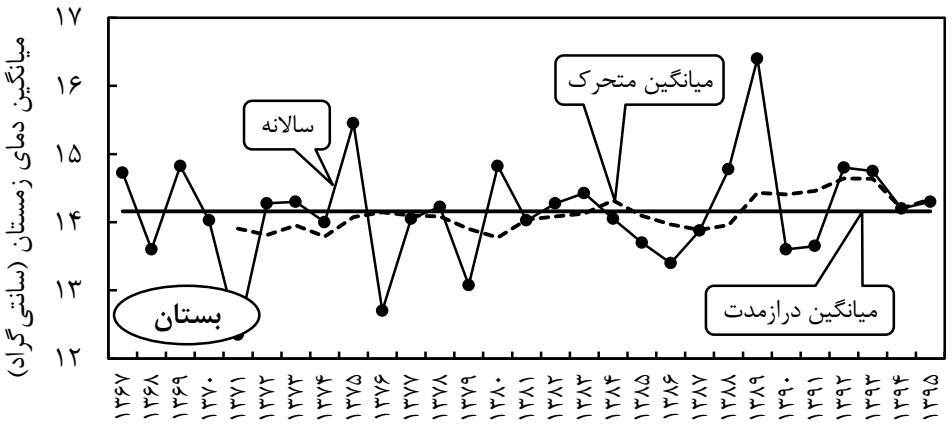
شکل ۳۳. مقادیر میانگین دمای فصل زمستان در سال‌های مختلف در ایستگاه آبادان



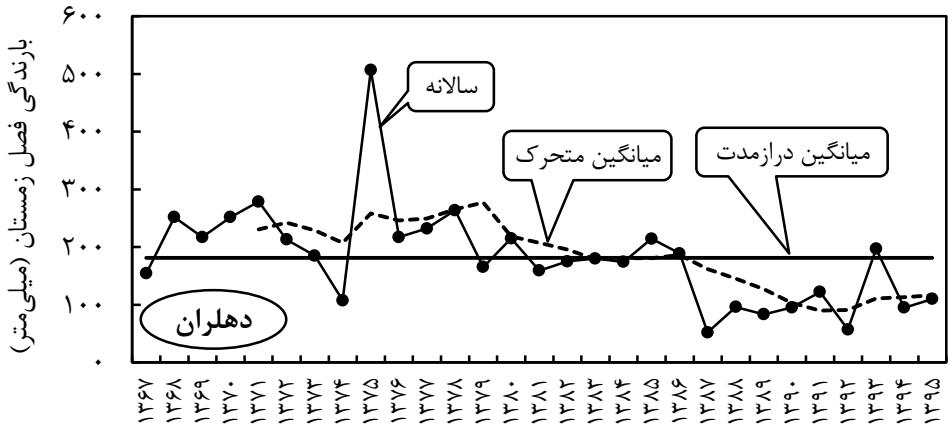
شکل ۳۴. مقادیر مجموع بارش فصل زمستان در سال‌های مختلف در ایستگاه بستان



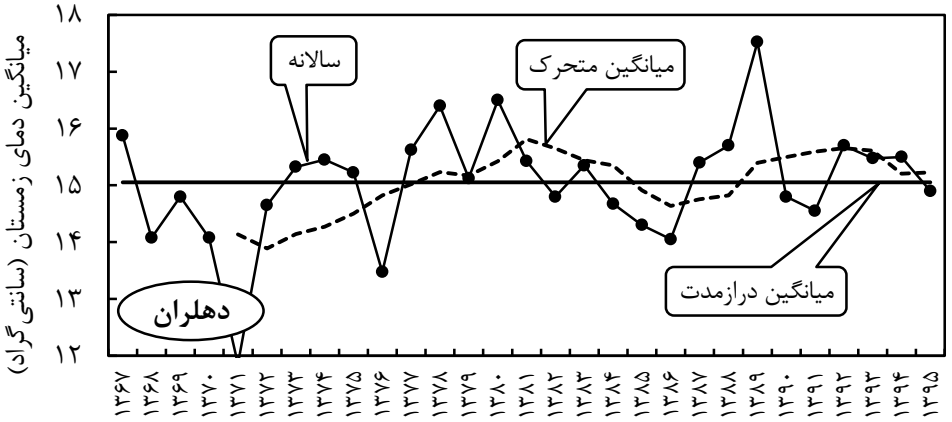
شکل ۳۵. مقادیر میانگین دمای فصل زمستان در سال‌های مختلف در ایستگاه بستان



شکل ۳۶. مقادیر مجموع بارش فصل زمستان در سال‌های مختلف در ایستگاه دهلران



شکل ۳۷. مقادیر میانگین دمای فصل زمستان در سال‌های مختلف در ایستگاه دهلران



از شکل‌های ۲۸ تا ۳۷، به‌طور واضح روند کم شدن بارندگی و افزایش دما در فصل پرآبی در ایستگاه‌های مختلف قابل مشاهده است. نمودار مربوط به میانگین متحرک پنج‌ساله این موضوع را به‌روشنی تأیید می‌کند. همان‌طور که این شکل‌ها نشان می‌دهند، متوسط مجموع بارش فصل زمستان در پنج سال اخیر نسبت به متوسط بلندمدت در ایستگاه‌های اهواز، ماهشهر، آبادان، بستان و دهلران به‌ترتیب برابر ۳۹/۳، ۳۸/۲، ۳۸/۵، ۳۰/۶ و ۳۵/۹ کاهش داشته است. همچنین میانگین دمای زمستان در پنج سال اخیر نسبت به متوسط بلندمدت به‌ترتیب حدود ۰/۷، ۰/۷، ۰/۵، ۰/۱ و ۰/۱ درجه سانتیگراد افزایش داشته است. ارقام مذکور که بسیار قابل توجه هستند، حاکی از حاکم بودن خشکسالی در این منطقه می‌باشند. در قسمت‌های قبل گزارش نیز با توجه به شاخص خشکسالی SPI گفته شد که تقریباً در تمام مناطق استان خوزستان خشکسالی با شدت‌های متفاوت از ملایم تا بسیار شدید، حاکم است. جدول ۱۲ ارقام مذکور را نشان می‌دهد. با توجه به این مطلب، شکل ۱۳ و شکل‌های ۱۸ تا ۲۵ می‌توان مطالب زیر را احصا و جمع‌بندی کرد:

– عمده دریافت بارش‌ها در استان خوزستان، که در فصل زمستان و ابتدای بهار اتفاق می‌افتد، در پنج سال اخیر با کاهش بی‌سابقه‌ای مواجه شده است. همچنین طی این دوره دما نیز افزایش چشمگیری داشته است.

– این امر باعث شده است که فراوانی و شدت توفان‌های گردوخاک در سال‌های اخیر در فصل زمستان و پرآبی، نسبت به سابقه تاریخی این موضوع افزایش یافته و توفان‌های گردوخاک در مواقع برخلاف انتظار در طول سال اتفاق بیفتند.

– این موضوع بیانگر این امر است که در بعضی مواقع سال علت غالب توفان‌های گردوخاک در مناطق مورد بحث، خشکسالی و کاهش بارش‌ها بوده و بین کاهش بارش‌ها و تعدد توفان‌های گردوخاک و همچنین بین افزایش دما و تعدد توفان‌های گردوخاک در این مواقع از سال همبستگی مثبتی برقرار است.

– با دقت در شکل‌های ۲۸ تا ۳۷ به‌راحتی استنباط می‌گردد که کاهش بارندگی و افزایش دما در مناطق نزدیک به کانون‌های داخلی منشأ توفان‌های گردوخاک، شدت بیشتری داشته که این امر خود مؤید سهم خشکسالی و روند رو به فزونی آن در تشکیل توفان‌های گردوخاک با منشأ داخلی است.

– با توجه به اینکه کاهش بارش‌ها و افزایش دما، اگر در اثر خشکسالی‌های موضعی هیدرولوژیک باشد، امری طبیعی و غیرانسان‌ساخت می‌باشد و نیز اگر در اثر تغییرات اقلیم و گرمایش جهانی باشد، امری جهانی و فراگیر بوده و کمتر به‌دلیل دخالت‌های مستقیم در منطقه می‌باشد، می‌توان گفت که وقوع توفان‌های گردوخاک در مناطق غرب و جنوب غرب کشور در مواقع خلاف انتظار در سال (فصل زمستان و مواقع پرآبی)، به احتمال زیاد علتی طبیعی و غیرانسان‌ساخت دارد.

جدول ۱۲. تغییرات بارندگی و دمای فصل زمستان در ایستگاه‌های مختلف

پارامتر / ایستگاه	ایستگاه اهواز	ایستگاه ماهشهر	ایستگاه آبادان	ایستگاه بستان	ایستگاه دهلران
میانگین بلندمدت بارندگی زمستان (میلیمتر)	۱۶۵/۶	۱۳۸/۴	۱۰۷/۳	۱۳۴/۱	۱۸۱/۴
میانگین پنج سال اخیر بارندگی زمستان (میلیمتر)	۱۰۰/۶	۸۵/۵	۶۶	۹۳	۱۱۶/۳
درصد کاهش بارندگی	**-۳۹/۳**	**-۳۸/۲**	**-۳۸/۵**	**-۳۰/۶**	**-۳۵/۹**
میانگین بلندمدت دمای زمستان (درجه سانتیگراد)	۱۵/۲	۱۵/۵	۱۵/۵	۱۴/۲	۱۵/۱
میانگین پنج سال اخیر دمای زمستان (درجه سانتیگراد)	۱۵/۹	۱۶/۲	۱۶	۱۴/۳	۱۵/۲
افزایش دما (درجه سانتیگراد)	**+۰/۷**	**+۰/۷**	**+۰/۵**	**+۰/۱**	**+۰/۱**

۴. چشم‌انداز تغییر اقلیم غرب و جنوب غرب کشور

جهت ارائه یک دید کلی از آینده وضعیت توفان‌های گردوخاک در غرب کشور، لازم است تا چشم‌انداز تغییر اقلیم کشور مشخص باشد. در این راستا این بخش از گزارش به چشم‌انداز تغییر اقلیم غرب و جنوب غرب کشور می‌پردازد.

دو دیدگاه عمده در مدلسازی اقلیم آینده وجود دارد که عبارتند از: روش دینامیکی که در آن معادلات حاکم بر جو که منتج از قوانین نیوتن و ترمودینامیک می‌باشند و با روش‌های عددی حل می‌شوند و روش دوم که مبتنی‌بر روش‌های آماری هستند. در دیدگاه آماری از حافظه تاریخی رویدادهای اقلیمی گذشته استفاده می‌شود و هیچ‌گونه رفتار حدی خارج از موارد رخ داده برای آینده قابل پیش‌بینی نیست. اما در روش دینامیکی با استفاده از داده‌های شرایط اولیه و شرایط مرزی، تحول مکانی و زمانی متغیرهای هواشناسی و اقیانوسی در لایه‌های مختلف جو و اقیانوس برای مقیاس‌های مختلف با استفاده از مدل‌های GCM پیش‌بینی می‌گردد. خروجی این مدل‌ها پس از ریزمقیاس‌نمایی برای مقیاس‌های مختلف قابل استفاده خواهد بود. به‌دلیل تفکیک مکانی کم، حذف و یا ساده‌سازی برخی پدیده‌های خردمقیاس در مدل‌های GCM، این مدل‌ها نمی‌توانند در مقیاس منطقه‌ای تقریب درستی را از شرایط آب‌وهوایی ناحیه مورد مطالعه، ارائه دهند و فقط روندهای بسیار کلی حاکم بر اقلیم را در مقیاس جهانی و آن هم در بعضی موارد با عدم قطعیت‌های بالا ارائه می‌دهند.

۱-۴. پیش‌بینی اقلیم و وضعیت منابع آب غرب و جنوب غرب کشور طی ۱۵ سال آینده

نتایج این بخش برمبنای اجرای مدل‌های GCM می‌باشد که تحت سناریوهای مختلف تغییرات اقلیم اجرا شده‌اند. بر این مبنا تغییرات دما، بارش و رواناب در حوضه‌های آبریز کارون بزرگ، کرخه، مرزی غرب و زهره - جراحی طی سه سناریوی خوش‌بینانه، متوسط و بدبینانه، برای ۱۵ سال آینده، پیش‌بینی شده است. جدول ۱۳ نتایج پیش‌بینی مذکور را نشان می‌دهد.

جدول ۱۳. پیش‌بینی تغییرات دما، بارش و رواناب در حوضه‌های آبریز غرب و جنوب غرب

سناریو		کارون بزرگ	کرخه	مرزی غرب	زهره - جراحی
سناریوی خوش‌بینانه	تغییر دما (درجه سانتیگراد)	+۰/۴	+۰/۴	+۰/۳	+۰/۴
	تغییر بارش (درصد)	+۷	+۱۹/۳	+۱۷/۷	+۲۷
	تغییر رواناب (درصد)	+۲	+۵/۵	+۹/۵	+۷/۵
سناریوی متوسط	تغییر دما (درجه سانتیگراد)	+۰/۷	+۰/۷	+۰/۸	+۰/۷
	تغییر بارش (درصد)	-۸/۸	+۳	+۸/۹	-۶
	تغییر رواناب (درصد)	-۲۰	+۱	+۵	-۱۵
سناریوی بدبینانه	تغییر دما (درجه سانتیگراد)	+۰/۹	+۱	+۱/۱	+۱
	تغییر بارش (درصد)	-۲۱	-۲۴/۶	-۰/۵	-۲۱/۵
	تغییر رواناب (درصد)	-۵۵	-۶۰/۵	-۱/۵	-۵۳

مأخذ: سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۴.

بر این اساس می‌توان نکات زیر را در مورد چشم‌انداز تغییر اقلیم و اثر آن بر منابع آب، در حوضه‌های آبریز مربوطه، به‌شرح زیر بیان کرد (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۴):

- با افزایش ۲ درجه سانتیگراد دمای کشور، حدود ۲۷ میلیارد مترمکعب بر حجم تبخیر افزوده می‌شود.
- با افزایش ۲ درجه سانتیگراد دمای کشور، میزان تغذیه منابع آب زیرزمینی تا حدود ۲۰ درصد کاهش می‌یابد.
- میزان ریزش‌های جوی به‌صورت برف، حدود ۵ درصد کاهش داشته و زمان ذوب برف حدود ۱ ماه به عقب جابه‌جا خواهد شد.
- امکان بروز خشکسالی‌ها و سیلاب‌های شدید افزایش می‌یابد.

– در حالت بدبینانه، تغییرات رواناب تمامی حوضه‌های آبریز کشور کاهشی خواهد بود که حوضه‌های آبریز غرب و جنوب غرب کشور بحرانی‌ترین وضعیت را خواهند داشت.

– با توجه به تشدید خشکسالی‌ها و کم‌آبی‌ها روند مخاطرات زیست‌محیطی و ازجمله توفان‌های گردوخاک، به احتمال زیاد افزایشی خواهد بود.

۵. تحلیل کارشناسی

این بخش از گزارش به تحلیل کارشناسی مطالب ارائه شده در بخش‌های قبل گزارش می‌پردازد. تحلیل کارشناسی مطالب مذکور در چهار بخش زیر ارائه می‌گردد:

الف) رابطه بین توفان‌های گردوخاک غرب و جنوب غرب کشور و خشکسالی‌های منطقه،

ب) سهم کانون‌های خارجی و داخلی منشأ تولید توفان‌های گردوخاک در غرب و جنوب غرب کشور،

ج) سهم عوامل طبیعی و انسان‌ساخت در توفان‌های گردوخاک غرب و جنوب غرب کشور،

د) پیش‌بینی آینده توفان‌های گردوخاک در غرب و جنوب غرب کشور.

الف) رابطه بین توفان‌های گردوخاک غرب و جنوب غرب کشور و خشکسالی‌های منطقه

استان خوزستان که قسمتی از حوضه آبریز درجه ۱ خلیج فارس و دریای عمان می‌باشد، از حوضه‌های آبریز درجه ۲، کارون بزرگ، کرخه، مرزی غرب و زهره- جراحی تشکیل شده است. این مناطق خود جزء حوضه آبریز بزرگ و برون‌مرزی اروندرود (شط‌العرب) است که بین کشورهای ترکیه، عراق، سوریه، ایران و عربستان مشترک می‌باشد. حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب) از حوضه آبریز رودخانه‌های دجله و فرات تشکیل شده است. به‌دلیل تغییرات اقلیم و خشکسالی‌ها این حوضه آبریز در سال‌های اخیر به‌شدت گرم‌تر شده به‌طوری که طی ۱۵ سال اخیر دمای متوسط این منطقه ۰/۹۶ سانتیگراد افزایش یافته است. همچنین بارش سالیانه نیز حدود ۲۷ درصد نسبت به متوسط بلندمدت کاهش داشته است.

در حوضه آبریز داخلی خلیج فارس و دریای عمان نیز متوسط بارندگی سالیانه و حجم جریان سطحی در ۱۰ سال اخیر نسبت به متوسط بلندمدت به‌ترتیب حدود ۱۸ و ۴۲ درصد کاهش داشته است. بدین ترتیب آبدهی رودخانه‌های اصلی این حوضه آبریز، یعنی کارون، کرخه، جراحی و زهره به‌ترتیب ۴۹، ۵۶، ۵۶ و ۴۱ درصد کاهش داشته‌اند. این ارقام حاکی از وقوع خشکسالی در منطقه است. براساس شاخص خشکسالی SPI شدت این خشکسالی متوسط، شدید و گاهی اوقات هم بسیار شدید است.

با بررسی آمار مربوط به شاخص خشکسالی و توفان‌های گردوخاک در شهرستان‌های مختلف استان خوزستان طی ۲۵ سال اخیر به‌وضوح مشخص می‌شود که با تشدید خشکسالی‌ها در استان خوزستان، شدت و فراوانی توفان‌های گردوخاک نیز به‌تبع آن در این استان افزایش یافته است. علت این امر را نیز

می‌توان در این مقوله جستجو نمود که با کاهش آبدهی رودخانه‌های این حوضه آبریز در درون و برون کشور، رطوبت پهنه‌های آبی و تالاب‌ها کاهش یافته و با تشدید خشک شدن آنها و پدیده بیابان‌زایی کانون‌های منشأ توفان‌های گردوخاک توسعه می‌یابند.

ب) سهم کانون‌های خارجی و داخلی منشأ تولید توفان‌های گردوخاک در غرب و جنوب غرب کشور

کانون‌های خارجی منشأ توفان‌های گردوخاک در درجه اول در کشور عراق و در درجه دوم نیز در کشور سوریه واقع شده‌اند. اهم این مناطق عبارتند از: شمال غرب عراق و شرق سوریه، دو طرف رودخانه فرات، تالاب‌ها و زمین‌های خشک‌شده جنوب عراق (بین‌النهرین)، زمین‌های اطراف و شمال دریاچه تارتار در عراق، زمین‌های غرب عراق (استان الانبار) و شرق سوریه (استان حمص) و مناطق مرزی شمال عربستان و شرق اردن. مناطق مذکور در شکل ۲۶ گزارش نشان داده شده‌اند.

کانون‌های داخلی منشأ توفان‌های گردوخاک در غرب و جنوب غرب کشور به‌طور عمده در استان خوزستان واقع شده‌اند و اهم آنها عبارتند از: ناحیه جنوب غرب هویزه، ناحیه شمال شرق خرمشهر، ناحیه شرق اهواز، ناحیه جنوب و جنوب شرق اهواز، منطقه بندر امام - امیدیه، منطقه ماهشهر - هندیجان و منطقه شرق هندیجان. این مناطق در شکل ۲۷ گزارش نشان داده شده‌اند.

تفاوت اصلی توفان‌های گردوخاک با منشأ خارجی و داخلی در ماندگاری، غلظت و دامنه اثر آنهاست. توفان‌های با منشأ خارجی دارای ماندگاری بیشتر، غلظت کمتر و معمولاً دامنه اثر گسترده‌تر هستند، به‌طوری‌که ممکن است حتی تا ۳ روز هم ماندگاری داشته باشند و گاهی تا استان‌های مرکزی کشور هم نفوذ کنند. توفان‌های با منشأ داخلی معمولاً دارای ماندگاری کمتر، غلظت بیشتر و دامنه اثر کمتری می‌باشند. غلظت این نوع توفان‌ها گاه تا بیش از ۵۰ برابر حد استاندارد نیز می‌رسد.

در مورد سهم توفان‌های گردوخاک با منشأ خارجی و داخلی، با توجه به تحقیقات انجام شده شاید سهم کمی هر یک را دقیقاً نتوان مشخص کرد، اما با تکیه به این تحقیقات می‌توان گفت که سهم توفان‌های با منشأ خارجی بیشتر است. اما در سال‌های اخیر سهم توفان‌های با منشأ داخلی افزایش یافته و روند آن نیز در حال افزایش است.

ج) سهم عوامل طبیعی و انسان‌ساخت در توفان‌های گردوخاک غرب و جنوب غرب کشور

در یک دید کلی کاهش آورد رودخانه‌های حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب) یعنی دجله و فرات و شاخه‌های اصلی آنها در داخل کشور یعنی کارون و کرخه و رودخانه‌های زهره و جراحی را می‌توان به سه عامل مرتبط دانست. این سه عامل عبارتند از: ۱. برداشت‌های بیش از حد از منابع آب، ۲. خشکسالی‌ها و ۳. تغییرات اقلیم.

برداشت‌های بیش از حد از منابع آب به‌خصوص منابع آب سطحی (رودخانه‌ها) باعث کاهش آورد آنها شده و در نهایت باعث کاهش حجم آب ورودی به زیست‌بوم‌ها، تالاب‌ها و پهنه‌های آبی پایین‌دست شده که عاقبت این پدیده خشک‌شدن این پهنه‌ها، بیابان‌زایی و برخاستن گردوخاک از این کانون‌هاست. شاید بتوان اصلی‌ترین عامل انسان‌ساخت کاهش آورد رودخانه‌های دجله و فرات را کنترل و مهار آب این رودخانه‌ها توسط کشور ترکیه در سرشاخه‌های این رودخانه‌ها (پروژه گاپ) به‌حساب آورد. به‌دلیل این پروژه رودخانه‌های دجله و فرات به‌ترتیب با کاهش‌های ۴۷ و ۶۶ درصدی در آورد خود مواجه خواهند شد که این امر اثر بسیار چشمگیری را در پایین‌دست، یعنی کشورهای عراق، سوریه و ایران، ایجاد خواهد نمود. یکی از دلایل اصلی ورود گردوخاک‌ها با منشأ خارجی به کشور ایران را می‌توان پروژه گاپ کشور ترکیه محسوب کرد. به‌طور حتم کشور ترکیه از این پروژه علاوه بر اهداف اقتصادی، اهداف سیاسی را نیز دنبال می‌کند.

در داخل کشور نیز مهار آب‌های رودخانه‌های کارون، کرخه، زهره و جراحی توسط زنجیره سدهای متعدد و همچنین استفاده فزآینده از آب این رودخانه‌ها باعث شده که حقابه زیست‌محیطی زیست‌بوم‌های پایین‌دست ازجمله تالاب‌ها کاهش‌های چشمگیر یافته و کانون‌های منشأ توفان‌های گردوخاک شکل گیرند. این امر نیز جزء عوامل طبیعی نبوده و انسان‌ساخت به‌شمار می‌رود.

خشکسالی‌ها از عوامل طبیعی توفان‌های گردوخاک به‌شمار می‌روند. البته باید عنوان کرد که وقوع خشکسالی‌های موضعی و متناوب جزء طبیعی چرخه هیدرولوژیک می‌باشند و در منطقه سابقه تاریخی دارند. دوره، تناوب و طول دوره خشکسالی بسته به شدت آن متغیر می‌باشد. تغییرات اقلیم در مقیاس جهانی را نیز می‌توان دلیل دیگر وقوع توفان‌های گردوخاک به‌شمار آورد. از آن‌جایی که علت اصلی تغییرات اقلیم ورود بیش از حد گازهای گلخانه‌ای توسط بشر به جو زمین است، این عامل نیز جزء عوامل انسان‌ساخت بوده، ولی در مقیاس جهانی محسوب می‌گردد.

نکته مهم دیگر که باید مورد توجه و واکاوی قرار گیرد، افزایش شدت و فراوانی توفان‌های گردوخاک در مواقعی است که انتظار آن نمی‌رود. به‌دلیل وقوع بارش‌ها و رطوبت سطحی زمین، قاعدتاً در فصول بارش و پرآبی (زمستان و اول بهار) احتمال وقوع توفان‌های گردوخاک کمتر می‌باشد، اما در سال‌های اخیر در این مواقع از سال نیز توفان‌های گردوخاک به‌وقوع می‌پیوندند. با بررسی آمار مربوط به بارش و دما در فصل زمستان، به‌وضوح مشخص می‌شود که خشکسالی در استان خوزستان حاکم است. برای مثال مجموع بارندگی فصل پرآبی در ایستگاه‌های اهواز، ماهشهر، آبادان، بستان و دهلران، در پنج سال اخیر نسبت به متوسط بلندمدت به‌ترتیب حدود ۳۹/۳، ۳۸/۲، ۳۸/۵، ۳۰/۶ و ۳۵/۹ کاهش داشته است. همچنین میانگین دمای زمستان در پنج سال اخیر نسبت به متوسط بلندمدت در این ایستگاه‌ها نیز به‌ترتیب حدود ۰/۷، ۰/۷، ۰/۵، ۰/۱ و ۰/۱ درجه سانتیگراد افزایش داشته است. این ارقام بسیار چشمگیر و قابل توجه بوده و

نشان‌دهنده این موضوع می‌باشد که دلیل اصلی توفان‌های گردوخاک در فصل پرآبی عمدتاً خشکسالی‌ها بوده و می‌توان آنها را طبیعی و غیرانسان‌ساخت محسوب نمود.

تفکیک دقیق سهم هر یک از عوامل ذکر شده در تشکیل، توسعه و تشدید توفان‌های گردوخاک به آسانی امکان‌پذیر نیست. از آن‌جایی که برداشت بیش از حد از منابع آب و تغییرات اقلیم در مقابل خشکسالی‌های موضعی و موقتی، عواملی انسان‌ساخت بوده و از طرفی دیگر خشکسالی حاکم بر خاورمیانه خود می‌تواند ناشی از تغییرات اقلیم باشد تا یک خشکسالی طبیعی هیدرولوژیک، می‌توان گفت که در کل سهم عوامل انسان‌ساخت در تشکیل، توسعه و تشدید توفان‌های گردوخاک نسبت به عوامل طبیعی بیشتر است. البته تدقیق و کمی‌سازی این امر نیاز به تحقیقات گسترده و فنی دارد.

د) پیش‌بینی آینده توفان‌های گردوخاک در غرب و جنوب غرب کشور

پیش‌بینی می‌شود که در افق سال ۲۱۰۰ حوضه آبریز اروندرود (شط‌العرب) حدود ۶ درجه سانتیگراد گرم‌تر شود. این امر با توجه به اخطارها و پیش‌آگاهی‌های سازمان‌های ملی و بین‌المللی مبنی‌بر تداوم خشکسالی‌ها در منطقه خاورمیانه نیز قابل تأیید است. از طرفی دیگر براساس خروجی مدل‌های GCM و سناریوی بدبینانه، پیش‌بینی می‌شود که وضعیت حوضه‌های آبریز کارون بزرگ، کرخه، مرزی غرب و زهره - جراحی طی ۱۵ سال آینده، وضعیتی بحرانی باشد، به‌طوری‌که بارندگی در این حوضه‌ها به‌ترتیب ۲۱، ۲۴/۶، ۰/۵ و ۲۱/۵ و رواناب نیز به‌ترتیب ۵۵، ۶۰/۵، ۱/۵ و ۵۳ کاهش خواهد داشت. ازسوی دیگر تشدید و ادامه مهار آب رودخانه‌های دجله و فرات در سرشاخه‌ها توسط کشور ترکیه و همچنین زنجیره سدهای روی رودخانه‌ها، قطعاً از ورود آب به زیست‌بوم‌ها و تالاب‌های پایین‌دست ممانعت خواهد کرد و با توجه به شرایط اقلیمی، هیدرولوژیک و سیاسی منطقه، امکان تغییر در شرایط مذکور در کوتاه‌مدت بعید به‌نظر می‌رسد. در داخل کشور نیز با توجه به فراهم نبودن زیرساخت‌های مورد نیاز برای تغییر مدیریت منابع آب، بحران آب و شرایط اقتصادی حاکم، تغییر شرایط در افق کوتاه‌مدت بعید است.

با عنایت به مطالب فوق‌الذکر به‌نظر می‌رسد که در افق کوتاه‌مدت تغییری در شرایط توفان‌های گردوخاک در غرب و جنوب غرب کشور رخ نخواهد داد. با ادامه وضع موجود از مناظر ذکر شده در درون و برون کشور، پیش‌بینی می‌شود که رخدادهای مربوط به توفان گردوخاک از نظر فراوانی و شدت، روندی افزایشی را داشته باشد.

جمع‌بندی

توفان‌های گردوخاک در غرب و جنوب غرب کشور از دو جنبه قابل بررسی است، که عبارتند از: جنبه خارجی و جنبه داخلی. از منظر برون‌مرزی با توجه به این‌که این قسمت از کشور ایران جزء حوضه آبریز بزرگ اروندرود (شط‌العرب) می‌باشد، قطعاً روندهای حاکم بر اقلیم و منابع آب در این حوضه آبریز که بین کشورهای ترکیه، عراق، سوریه، ایران و عربستان، مشترک می‌باشد، بر توفان‌های گردوخاک ایران به‌طور مستقیم و غیرمستقیم اثرگذار است. با عنایت به وجود خشکسالی شدید حاکم بر این منطقه و تغییرات اقلیم، که پیش‌بینی می‌شود ادامه داشته باشد، در کنار اقدامات کشور ترکیه در مهار آب سرشاخه‌های رودخانه‌های دجله و فرات (پروژه گاپ) و همچنین نیاز شدید کشورهای عراق و سوریه به آب، به‌نظر می‌رسد که توفان‌های گردوخاک با منشأ خارج از کشور ادامه داشته باشد و یا تشدید گردد. با بررسی روند خشکسالی حاکم بر حوضه‌های آبریز کارون بزرگ، کرخه، مرزی غرب و زهره - جراحی و کاهش آبدهی رودخانه‌های موجود در این حوضه‌ها و همچنین فراوانی و شدت توفان‌های گردوخاک در این مناطق، کاملاً مشخص می‌شود که با تشدید خشکسالی و کاهش آبدهی رودخانه‌ها (به علل خشکسالی، تغییر اقلیم و مهار آب آنها در بالادست)، توفان‌های گردوخاک با منشأ داخلی افزایش یافته است. تفاوت‌های اصلی توفان‌های گردوخاک با منشأ خارجی و داخلی در ماندگاری، غلظت و دامنه اثر آنهاست. توفان‌های گردوخاک با منشأ خارجی که بیشتر توفان‌های گردوخاک غرب و جنوب غرب کشور را تشکیل می‌دهند، معمولاً دارای ماندگاری بیشتر، غلظت کمتر و دامنه اثر گسترده‌تر هستند. توفان‌های گردوخاک با منشأ داخلی نیز که فراوانی و شدت آنها روبه افزایش است، معمولاً دارای ماندگاری کمتر، غلظت بیشتر و دامنه اثر محدودتر هستند. پیش‌بینی وضعیت آینده اقلیم و منابع آب منطقه خاورمیانه که در برگیرنده حوضه آبریز مشترک اروندرود (شط‌العرب) و همچنین حوضه آبریز داخلی خلیج فارس و دریای عمان است، حاکی از آن می‌باشد که روند خشکسالی و مهار آب‌ها توسط کشورهای مختلف روبه افزایش بوده که نتیجه آن تشدید توفان‌های گردوخاک در منطقه غرب و جنوب غرب کشور خواهد بود. در انتها نکات کلیدی گزارش به‌صورت زیر جمع‌بندی می‌گردد:

– علل توفان‌های گردوخاک مناطق غرب و جنوب غرب کشور به دو نوع طبیعی و انسان‌ساخت تقسیم‌بندی می‌شود.

– از جنبه طبیعی می‌توان گفت که مناطق غرب و جنوب غرب کشور که در حوضه آبریز داخلی خلیج فارس و دریای عمان و حوضه آبریز خارجی و مشترک اروندرود (شط‌العرب) قرار دارد، در سال‌های اخیر دچار خشکسالی کم‌سابقه بوده به‌طوری که میانگین بارندگی در این مناطق در ۱۰ سال اخیر حداقل از ۳۰ تا ۵۰ درصد کاهش و دمای متوسط نیز حداقل از ۰/۱ تا ۱ درجه سانتیگراد افزایش داشته است. به‌دلیل کاهش بارش یادشده آبدهی رودخانه‌های موجود در این حوضه آبریز به‌شدت کاهش یافته است.

– کاهش بارش و افزایش دمای مذکور از یک طرف به‌دلیل خشکسالی موضعی (خشکسالی هیدرولوژیک) و از طرف دیگر به‌دلیل تغییرات اقلیم و گرمایش جهانی صورت گرفته است. لازم به‌ذکر است که می‌توان تغییرات اقلیم و گرمایش جهانی را پدیده‌ای انسان‌ساخت در مقیاس جهانی و کمتر به‌دلیل دخالت‌ها به‌طور مستقیم در منطقه لحاظ نمود.

– کاهش بارندگی و افزایش دما در مناطق نزدیک به کانون‌های داخلی منشأ توفان‌های گردوخاک، شدت بیشتری داشته که این امر خود مؤید سهم خشکسالی و روند روبه فزونی آن در تشکیل توفان‌های گردوخاک با منشأ داخلی است.

– از جنبه انسان‌ساخت، مدیریت ناصحیح منابع آب در منطقه، تأسیس سدهای متعدد روی رودخانه‌های منطقه و مهار آب آنها، هم در داخل کشور و هم در خارج از کشور، باعث اختلال در رژیم طبیعی رودخانه‌ها شده که در نهایت به کم‌آب و خشک‌شدن زیست‌بوم‌ها و تالاب‌های پایین‌دست این رودخانه‌ها و تبدیل آنها به کانون‌های منشأ توفان‌های گردوخاک شده است. انتقال آب بخشی از سرشاخه‌های رودخانه‌های کارون و دز و همچنین رودخانه‌های زهره و جراحی می‌تواند در کاهش آبدهی این رودخانه‌ها مؤثر باشد.

– کنترل و مهار آب سرشاخه‌های رودخانه‌های دجله و فرات توسط کشور ترکیه (طرح گاپ)، یکی از عوامل اصلی کاهش آبدهی این رودخانه‌ها توسط بشر می‌باشد.

– اهم کانون‌های خارجی منشأ توفان‌های گردوخاک عبارتند از: شمال غرب عراق و شرق سوریه، دو طرف رودخانه فرات، تالاب‌ها و زمین‌های خشک شده جنوب عراق (بین‌النهرین)، زمین‌های اطراف و شمال دریاچه تارتار در عراق، زمین‌های غرب عراق (استان الانبار) و شرق سوریه (استان حمص) و مناطق مرزی شمال عربستان و شرق اردن.

– اهم کانون‌های داخلی منشأ توفان‌های گردوخاک عبارتند از: ناحیه جنوب غرب هویزه، ناحیه شمال شرق خرمشهر، ناحیه شرق اهواز، ناحیه جنوب و جنوب شرق اهواز، منطقه بندر امام - امیدیه، منطقه ماهشهر - هندیجان و منطقه شرق هندیجان.

– نتایج مدل‌های پیش‌بینی اقلیم حاکی از تداوم روند خشکسالی در مناطق مذکور می‌باشد که نتیجه آن ادامه و به احتمال زیاد تشدید توفان‌های گردوخاک در این مناطق است.

پیشنهادها

در راستای کنترل، مهار و تسکین اثر توفان‌های گردوخاک اهم پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد:

– با توجه به اینکه به‌طور کلی بیشتر توفان‌های گردوخاک غرب و جنوب غرب کشور منشأ خارجی دارند و مهار و کنترل آنها نیازمند تصمیم‌سازی‌های فرامرزی است، باید به‌موازات برنامه‌ریزی برای مهار

این کانون‌ها، برنامه‌های کاهش آثار و آسیب‌های این توفان‌ها در بخش‌های مختلف سلامت، اجتماعی، اقتصادی و غیره، به‌طور جدی مدنظر قرار گیرد.

– همان‌طور که در متن گزارش اشاره شد، در سال‌های اخیر سهم توفان‌های گردوخاک با منشأ داخلی افزایش یافته است. در این راستا با توجه به تخریب شدید سرزمین و به‌ویژه زمین‌های کشاورزی از یکسو و توسعه بیابان و ماسه‌های روان ازسوی دیگر، برنامه‌های مهار کانون‌های داخلی باید در اسرع وقت تعیین و اجرا گردد.

– از آن‌جایی که توفان‌های گردوخاک با منشأ خارج از کشور، بخش‌های وسیع و قابل توجهی از کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهند، پیگیری این موضوع ازسوی وزارت امور خارجه و دستگاه دیپلماسی کشور باید تشدید و تسریع گردد. در این راستا دیپلماسی آب (هیدروپلیتیک) مؤثر و همچنین سازمان‌ها و دستگاه‌های بین‌المللی می‌تواند در راهبری موضوع مؤثر واقع شود.

– سایر راهکارهای مدیریتی مهار کانون‌های منشأ توفان‌های گردوخاک به‌شرح زیر قابل ارائه هستند:

- تخصیص حقابه تالاب‌ها، آبگیرها و پهنه‌های مرطوب در چارچوب مدیریت یکپارچه منابع آب،
- تعیین شرح وظایف دستگاه‌ها و سازمان‌های مختلف (وزارت نیرو، وزارت جهاد کشاورزی، وزارت کشور، وزارت امور خارجه، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، سازمان حفاظت محیط زیست و غیره) و ایجاد هماهنگی‌های لازم بین آنها به‌نحوی مؤثر،
- بازنگری در کارکرد سدها، سیل‌بندها و بندهای خاکی احداث شده روی رودخانه‌ها و آبراهه‌ها،
- افزایش بهره‌وری در مصرف آب کشاورزی،
- اصلاح برخی از طرح‌های عمرانی شامل: جاده‌ها، خطوط انتقال نفت و گاز و غیره در چارچوب برنامه مصوب،
- اجرای برنامه‌های بیابان‌زدایی در قالب عملیات تثبیت شن‌ها، نهال‌کاری و غیره.

منابع و مآخذ

۱. ذوالفقاری، حسن و دیگران (۱۳۹۰)، بررسی همدید توفان‌های گردوغبار در مناطق غربی ایران طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۸ (مطالعه موردی: موج فراگیر تیرماه ۱۳۸۸).

۲. سازمان هواشناسی کشور، گزارش اقلیم پایه کشور و چشم‌انداز آن تحت گرمایش جهانی (گزارش تلفیقی دستگاه‌های مختلف)، ۱۳۹۴.

۳. شعاعی، ضیاءالدین، تشدید توفان‌های گردوغبار، چالش مهم زیست‌محیطی دهه اخیر در غرب آسیا و ایران، سازمان حفاظت محیط‌زیست، ستاد ملی مقابله با پدیده گردوغبار، ۱۳۹۴.

۴. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، اداره کل زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی اهواز، شناسایی کانون‌های منشأ گردوخاک در استان خوزستان، ۱۳۹۴.

۵. سازمان هواشناسی کشور، اداره کل هواشناسی خوزستان، اطلاعات هواشناسی ایستگاه اهواز، ۱۳۹۴.
۶. غریب‌رضا، محمد و لک، راضیه، برخاستگاه و ژئوشیمی گردوخاک‌های استان خوزستان (مطالعه موردی: توفان بهمن‌ماه ۱۳۹۳)، کارگاه‌های آموزشی و سی‌وچهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، ۳ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴، ایران، تهران.
۷. سازمان هواشناسی کشور، پژوهشکده علوم جوی و هواشناسی، بررسی وضعیت شکل‌گیری و روند تغییرات پدیده گردوغبار در غرب و جنوب غرب کشور، ۱۳۹۵.
۸. سازمان هواشناسی کشور، مرکز ملی گردوخاک، بررسی توفان‌های گردوخاک محلی و گسترده استان خوزستان، ۱۳۹۵.
۹. سایت اینترنتی *https://www.esrl.noaa.gov/*.
10. Flint, A. L., Flint, L. E., Curtis, J. A. and Buesch, D. C. (2010), A preliminary water balance model for the Tigris and Euphrates river system, U.S. Geological Survey.
11. UN-ESCWA and BGR (United Nations Economic and Social Commission for Western Asia; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) (2013), Inventory of Shared Water Resources in Western Asia. Beirut.
12. Bozkurt, D. and Lutfi Sen, O. (2011), Hydrological response of past and future climate changes in the Euphrates-Tigris Basin, Geophysical Research Abstracts, Vol. 13, EGU2011-11072, 2011.
13. Issa, I.E., Al-Ansari, N.A., Sherwany, G. and Knutsson, S. (2014), Expected future of water resources within Tigris-Euphrates rivers basin, iraq. Journal of Water Resource and Protection, 6, 421-432.
14. McKee, T. B., J. Nolan, and J. Kleist (1993), The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology, Anaheim, CA, Amer. Meteor, Soc., 179-184.

شناسنامه گزارش	مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی	شماره مسلسل: ۱۵۴۱۶

عنوان گزارش: توفان‌های گردوخاک غرب و جنوب غرب کشور علل، منشأ، کانون‌ها و پیش‌بینی وضعیت آینده

نام دفتر: مطالعات زیربنایی (گروه آب)

تهیه و تدوین‌کنندگان: نرجس‌السادات عبدالمنافی (بخش‌های مربوط به هواشناسی)، مهدی مظاهری (بخش‌های مربوط به آب)

مدیران مطالعه: جمال محمدولی سامانی، مهران برادران نصیری

ناظران علمی: حسین افشین، محسن صمدی

متقاضی: کمیسیون کشاورزی، آب و منابع طبیعی

ویراستار تخصصی: ـــــ

ویراستار ادبی: ـــــ

واژه‌های کلیدی:

۱. توفان‌های گردوخاک

۲. کانون‌های منشأ گردوخاک

۳. رودخانه دجله

۴. رودخانه فرات

۵. طرح گاپ ترکیه

۶. خشکسالی

۷. تغییر اقلیم

تاریخ انتشار: ۱۳۹۶/۳/۲۴