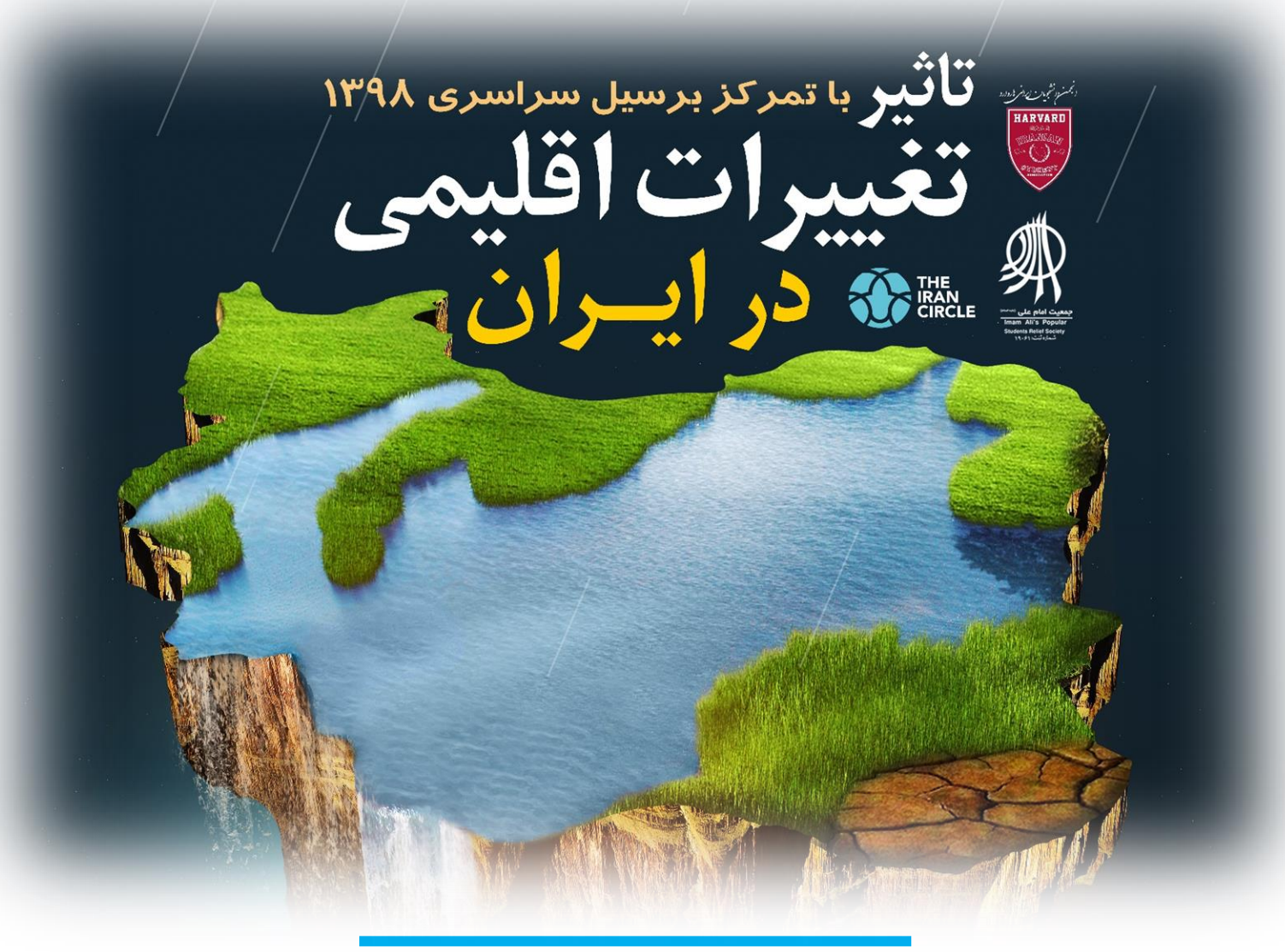



## مجموعه سخنرانی‌ها و مقالات مرتبط با

# نشست بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر ایران

## با تمرکز بر سیل‌های سراسری ۱۳۹۸

**برگزار شده با همکاری جمعیت امام علی (ع)، حلقه ایران در بوستون و انجمن دانشجویان ایرانی هاروارد**

مکان نشست: دانشگاه هاروارد

زمان: آذر ۱۳۹۸

## فهرست مطالب:


**مقدمه نشست، جوامع و تغییرات اقلیمی** (زهرا رحیمی، مدیرعامل جمعیت امام علی(ع)) ..... **۳**

**ارزش اکوسیستم‌ها و تنوع زیستی** (محسن مسگران، دانشگاه کالیفرنیا در دیویس) ..... **۵**

خدمات اکوسیستم ..... ۵

مطالعات مرتبط با ایران ..... ۶

تنوع زیستی و تهدیدهای آن ..... ۷

**یک رودخانه جوی نادر موجب سیل‌های بی‌سابقه در خاورمیانه شد** (امین دزفولی، ناسا) ..... **۸**

مقدمه ..... ۸

اثرات سیلاب های فروردین ۹۸ ..... ۹

عامل بارش‌های سنگین چه بود؟ ..... ۱۱

تحلیل سینوپتیک رودخانه جوی دنا ..... ۱۲

مطالعات آینده ..... ۱۴

**سیل سراسری ایران. ابعاد، پیامدها و اقدامات** (میرمهدی سیّدرضایی، جمعیت امام علی) ..... **۱۵**

**داستان سه سیل: از بارانهای شدید استثنایی تا سیل ناشی از فعالیت های انسانی** (آنسه البرزی، دانشگاه کالیفرنیا در ایروین) ..... **۱۶**

سیل گلستان ..... ۱۶

سیل شیراز ..... ۱۷

سیل لرستان ..... ۱۸

## مقدمه نشست، جوامع و تغییرات اقلیمی

**زهرا رحیمی خامنه** (عضو هیئت مدیره و مدیرعامل جمعیت امام علی (ع))
نگارش: سارا رضایی

نقش اول گرمایش زمین را سیاست‌مداران بازی می‌کنند که در سه زمینه قانون‌گذاری، اجرا و ضمانت اجرا عهده‌دار وظیفه‌اند؛ به‌گونه‌ای که باید بر اساس آن برای طمع افراد، اشخاص و ارگان‌ها حد و مرز ایجاد کنند، در حالیکه مشاهده می‌کنیم که در عمل این اتفاق رخ نمی‌دهد. نقش دوم، صنایع بزرگ دنیا هستند و مسئول تولید بخش اعظمی از دی‌اکسیدکربن هستند. نقش سوم، مردم هستند که می‌توان مردم را به دو دسته تقسیم کرد، دسته اول مردمی که بر اساس قوانین و شرایط موجود در حال گذران زندگی هستند و دسته دوم، فعالین حوزه اجتماعی و محیط زیست. متاسفانه شکاف موجود بین فعالین و مردم، مانع آن است که اتفاق موثری در زمینه پیشگیری از گرمایش زمین به وقوع بپیوندد.

به نظر می‌رسد که مهم‌ترین بازیگران این عرصه مردم و به خصوص نسل آینده هستند. یکی از راهکارهای موثر و پایدار، سرمایه‌گذاری بر روی کودکان است. نسل آینده در زمینه تغییرات اقلیمی می‌توانند منشا تغییرات شگرفی باشند که این موضوع نیاز به آموزش صحیح آنان دارد. زنان نیز نقش مهمی در زمینه جلوگیری از گرمایش زمین و تغییرات اقلیمی می‌توانند ایفا کنند.

نقش سازمان‌های مردم‌نهاد برای آگاه‌سازی گروه‌های کم‌برخودار و محروم در مورد برخورداری از حقوقشان در حوزه محیط زیست بسیار اهمیت دارد. مسئله مهم اینجاست که سمن‌های فعال چقدر توانسته‌اند دغدغه‌هایشان را در جوامع‌شان فراگیر کنند و با همراه کردن بخش عظیمی از مردم، اهرم فشاری برای دولت‌مردان باشند. همه انسان‌ها باید بپذیرند که بحث گرمایش زمین موضوعی مربوط به حفظ و بقای بشر است.

مشابه وضعیتی که در مقابله با معضلات اجتماعی وجود دارد، در موضوع تغییر نگرش نسبت به تغییرات اقلیمی هم در ابتدا مکانیزم دفاعی و انکار وجود دارد. مکانیزم انکار در حقیقت دفاع از خود و تداوم از وضع موجود و مقاومت در برابر تغییر است. با اینکه کشورهای توسعه یافته اغلب داعیه عقلانیت در تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری دارند، اما متاسفانه در بحث گرمایش زمین هنوز هم شاهد هستیم که بسیاری از سیاست‌مداران در مرحله انکار هستند و حتی بر اساس مستندات نیز حاضر به پذیرش واقعیت نیستند.

در حوزه مسائل اجتماعی بعد از مرحله انکار، پذیرش و برخورد قهری و تهدید است و بعد از آن مرحله عقلانی است که در آن ریشه‌یابی صحیح و انسجام‌بخشی اجتماعی و کمک از مردم برای حل بحران‌ها و مسائل اهمیت پیدا می‌کند.

برای حل مسائل پیچیده امروز جوامع، داشتن نگاه یکپارچه، کل‌گرا و هوشمند ضروری است. نگاهی که انسان را به عنوان جزئی از اکوسیستم ببیند. به عبارت دیگر، پیوند مسائل بین موجودات و زیست‌گاه‌ها، در قالب یک تفکر مبتنی بر اکوسیستم کلی نتیجه‌بخش است و نه تفکر جزءنگر. برای مثال در برخورد با فقر، با تحلیل‌های تک‌بعدی روبرو هستیم و این در حالی است که فقر پدیده‌ای چند بعدی است.

خشک‌سالی، به عنوان یکی از پیامدهای گرم شدن زمین، این روزها در بسیاری از نقاط ایران منشاء ایجاد فقر بوده و منجر به مهاجرت شده است؛ مهاجرتی که در اغب موارد باعث ایجاد و رشد حاشیه‌نشینی بوده است. در برخی مناطق، مشاغلی چون کشاورزی به تولید زغال سنگ تغییر یافته است که این مسئله باعث قطع درختان و جنگل‌ها در پوشش‌های گیاهی مناطقی چون زاگرس شده است. نمی‌توان انتظار داشت که انسان فقیری که به فردای خود و به بقای روز و ساعت خود می‌اندیشد، در اولویت‌هایش بقای کره زمین را هم لحاظ کند. ما سازمان‌های مردم‌نهاد امروز باید بدانیم که امیدی به دولت‌ها نیست و ما باید برای حفاظت از کره زمین در گوشه گوشه جهان همدیگر را پیدا کنیم و همه کسانی‌که نگران امروز و فردای این کره خاکی هستند را به هم پیوند دهیم.

# ارزش اکوسیستم‌ها و تنوع زیستی

**محسن مسگران** (دانشکده علوم گیاهی، دانشگاه کالیفرنیا در دیویس)
نگارش: امین فیض‌پور

**چکیده:**
اکوسیستم‌ها طیف گسترده‌ای از خدماتی را که برای زندگی و سلامت انسان‌ها ضروریست فراهم می‌کنند. اما کماکان به دلیل در نظر گرفتن منافع کوتاه مدت اقتصادی و اجتماعی و یا عدم فهم درست و کمّی از فواید طبیعت، به عنوان یک سرمایه، نادیده گرفته می‌شوند. در این گزارش، سعی خواهیم کرد درباره کارکردهای اکوسیستم و اهمیت تنوع زیستی توضیحاتی ارائه شود و اینکه چرا نگهداری از طبیعت بیشتر از اینکه فقط معیار اندازه گیری زیبایی باشد، وسیله‌ای برای بقای ماست.

## خدمات اکوسیستم

به مجموعه موجودات زنده و محیطی که با آن در تعامل هستند اکوسیستم (بوم سامانه) گفته می‌شود. کارکرد یا خدمات اکوسیستم عبارت است از منفعتی که انسان‌ها از این اکوسیستم‌ها می‌برند. در گذشته به این مفهوم بیشتر به صورت انتزاعی نگاه می‌شد تا اینکه مقاله ای در این زمینه توسط رابرت کنستانزا از دانشگاه مریلند منتشر شد که در آن تلاش شد تا قیمتی برای کاکردهای اکوسیستمی کره‌ی زمین (بدون منابع انرژی فسیلی) تعیین شود (R. Costanza *et al.* 1997). در این مقاله خدمات و کارکردهای اکوسیستم به ۱۷ گروه دسته‌بندی شد. مانند تنظیم گازها و اقلیم ، فرایند تشکیل خاک، تصفیه آب، گرده‌افشانی، غذا و غیره اشاره کرد. برای مثال ارزش هر هکتار جنگل در سال ۱۰۰۰ دلار است و ارزش کل خدمات اکوسیستم‌های زمین ۳۳ تریلیون دلار تخمین زده شد. در نهایت این مطالعه منجر به فعالیت‌های بیشتری در این زمینه شد از جمله می‌توان به ایجاد اداره‌ای در سازمان ملل بنام هزاره ارزیابی اکوسیستم (The Millennium Ecosystem Assessment) اشاره کرد که وظیفه آن نهادینه کردن و استانداردسازی روش مطالعه کارکردهای اکوسیستم‌ها در سطح جهانی و منطقه ای است.
این نهاد چهار نوع وظیفه کلی را برای اکوسیستم‌ها ترسیم کرد که عبارتند از خدمات فراهمی، تنظیم کننده، پشتیبانی کننده و فرهنگی. از مهمترین خدمات فراهمی اکوسیستم می‌توان به غذا اشاره کرد. ما بطور سالیانه بیش از نیاز جمعیت زمین غذا تولید می‌کنیم، هرچند توزیع آن عادلانه نیست. با توجه به اینکه صنعت کشاورزی مهمترین روش تولید غذا و از جهتی یکی از مخرب‌ترین صنعت‌ها برای محیط زیست است باید دید چگونه می‌توان تعادلی بین این دو برقرار کرد. دسته دیگری از خدمات فراهمی مواد خام از جمله چوب، پشم، چرم، آب شیرین و گیاهان دارویی (که ایران در این زمینه غنی ست) هستند. در ایران ما حدود ۲۳۰۰ گونه گیاهی با خاصیت دارویی هستیم. از این تعداد ما تنها از حدود ۲۰۰ گونه استفاده می‌کنیم و سهم ایران از صادرات آن‌ها تنها ۵۰۰ میلیون دلار است که در مقایسه با تجارت جهانی عدد قابل توجهی نیست.

از خدمات تنظیم کننده اکوسیستم می‌توان به تعدیل شرایط اقلیمی از جمله تولید اکسیژن و کاهش آلودگی هوا اشاره کرد. هر هکتار درخت در سال برای ۸ تا ۱۸ نفر انسان اکسیژن تولید می‌کند. در آمریکا ارزش درخت‌ها در مناطق شهری به منظور جلوگیری از آلودگی هوا حدود ۴ میلیارد دلار برآورد شده است. بخش دیگری از خدمات تنظیم کننده عبارتند از تثبیت یا ترسیب کربن، به این صورت که درخت اکسید کربن را از هوا جذب می‌کنند و ان را در کالبد خود ذخیره می‌کند. ارزش درختان در مناطق شهری آمریکا از این جهت حدود نیم میلیارد دلار برآورد شده است. هرچند این عدد برای درختان در همه مناطق در آمریکا حدود ۴ تریلیون دلارمحاسبه شده است که نشاندهنده اهمیت بسیار زیاد آن‌هاست. از دیگر خدمات تنظیم کننده اکوسیستم ها می‌توان به نقش حشرات و حیوانات گرده افشان اشاره کرد. حدود ۸۰ درصد از گیاهان روی کره زمین به نوعی به گرده افشانی برای زادآوری (تولید مثل) نیاز دارند. از جهت دیگر حدود سه چهارم از غذاهایی که ما استفاده می‌کنیم از بذر یا میوه بدست می‌آیند که برای تشکیل آن‌ها به گرده افشانی نیاز است. از این بابت ارزش این فرایند در تولید مواد غذایی در آمریکا حدود ۲۹ میلیارد دلار تعیین شده است (N.W. Calderone *et al.* 2012).

یکی دیگر از مهمترین خدمات اکوسیستم‌ها **کاهش خطر سیل** است. در هنگام بارندگی شاخ و برگ درخت سرعت برخورد قطرات آب با زمین را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، تنه ی درختان و بقایای گیاهان مرده بر روی زمین اصطکاکی ایجاد میکنند (Hydrolic Roughness) که باعث می‌شود جریان آب بر روی زمین کندتر شود. همچنین تولید مواد آلی توسط درختان و آمیخته شدن آن با خاک باعث افزایش ظرفیت نگهداری و سرعت نفوذ آب در خاک می‌شود (Sponge Effect). در نتیجه‌ی این فرآیندهای وابسته به درختان جنگلی سرعت نفوذ آب در زمین بیشتر و احتمال رخداد سیل کمتر می‌شود. جهت کاهش خطر سیل به نظر می‌رسد درختان سوزنی برگ بهتر از درختان خزان دار هستند به این دلیل که آن‌ها در تمام طول سال سبز هستند.

### مطالعات مرتبط با ایران

بطور مشابه در ایران نیز مطالعاتی از این دست انجام شده است که در یک مورد برای جنگل‌های بلوط کرمانشاه به لحاظ ظرفیت ترسیب کربن ارزشی معادل ۱۵۰ میلیون دلار در سال محاسبه شده است ( Yousefi *et al.* 2017). همچنین، دکتر مسگران میزان اکسیژن تولیدی توسط این درختان را نیز محاسبه کرده و بدست آوردند که هر یک از این درختان حدود ۴۳ کیلوگرم در سال اکسیژن تولید می‌کنند که معادل ۳,۱ میلیون تن اکسیژن در سال توسط جنگل‌های بلوط کرمانشاه است. علاوه بر این مطالعه جامع تری بر روی جنگل‌های شمال ایران انجام شده است که خدمات اکوسیستمی مختلف از جمله آب، حفاظت از خاک، ترسیب کربن، چرخه مواد غذایی و غیره را در نظر گرفته است (Jahanifar *et al.* 2018). این مطالعه نشان داده است که ارزش جنگل‌های شمال حدود ۱,۴ میلیارد دلار در سال است.

## تنوع زیستی و تهدیدهای آن

تنوع زیستی عبارت است از تنوع موجودات زنده در یک اکوسیستم، که این رابطه ای مستقیم با خدمات اکوسیستم دارد. یکی از تئوری‌های مطرح در اکولوژی بیان می‌کند که تنوع زیستی باعث پایداری اکوسیستم می‌شود، به این صورت که وجود گونه های مختلف باعث مقاومت بیشتر سیستم در برابر تخریب و حوادث ناگهانی می‌شود. بعنوان مثال، فرض کنید سه گیاه مختلف وجود دارند که نیتروژن هوا را تثبیت می‌کنند. حال اگر یک یا دو گونه از این سه گیاه حذف شوند هنوز یکی از گونه‌های باقیمانده توانایی این عملکرد را خواهند داشت. اما با وجود تنها یک گونه اکوسیستم در خطر جدی قرار می‌گیرد. در ایران تنوع زیستی بالایی وجود دارد. ما حدود ۸۰۰۰ گونه گیاهی داریم که ۱۸۰۰ گونه مختص (Endemic) ایران بوده و در سایر نقاط زمین یافت نمی‌شوند.

تهدیدهایی که خدمات اکوسیستم و تنوع زیستی را تهدید می‌کنند توسط سازمان های بین المللی طبقه بندی شده اند. از جمله این تهدیدها می‌توان به تغییرات اقلیمی و گرمایش زمین اشاره کرد که آنقدر سرعت بالایی دارد که برخی از گونه‌ها توانایی سازگاری با آن را ندارند و در طی زمان زیستگاه شان را از دست خواهند داد. دیگری تغییر کاربری اراضی و گسترش کشاورزی ست که آسیب بسیار جدی به محیط زیست وارد می‌کند. از دیگر تهدیدها می‌توان به توسعه شهری اشاره کرد که در اثر مدیریت نامناسب می‌تواند موجب آسیب به محیط زیست و ایجاد حوادثی همچون سیل‌های اخیر در ایران شود. بهره برداری مستقیم یکی دیگر از تهدیدها برای محیط زیست است، بعنوان مثال، می‌توان به چرای بی رویه دام اشاره کرد. در ایران چند برابر ظرفیت کشور دام سبک وجود دارد که موجب چرای بی رویه و آسیب‌های جدی به محیط زیست بخصوص در منطقه زاگرس و آذربایجان شرقی که از مناطق بسیار مهم دنیا برای تنوع زیستی ست. علاوه بر این‌ها، آلودگی (مثل آفت کش های مورد استفاده در کشاورزی) و گونه‌های مهاجم (مثل علف های هرز) از دیگر تهدیدها برای خدمات اکوسیستم و تنوع زیستی هستند. بنابراین، با حفاظت از محیط زیست و مدیریت بهتر آسیب‌هایی که به آن در اثر فعالیت‌های انسانی وارد می‌شود می‌توان در پیشگیری از حوادث طبیعی مخربی مانند سیل موثر بود.

# یک رودخانه جوی نادر موجب سیل‌های بی‌سابقه در خاورمیانه شد*

**امین دزفولی (ناسا)**

ترجمه و نگارش: فاطمه کاظمی و روزبه رئوفی

## چکیده

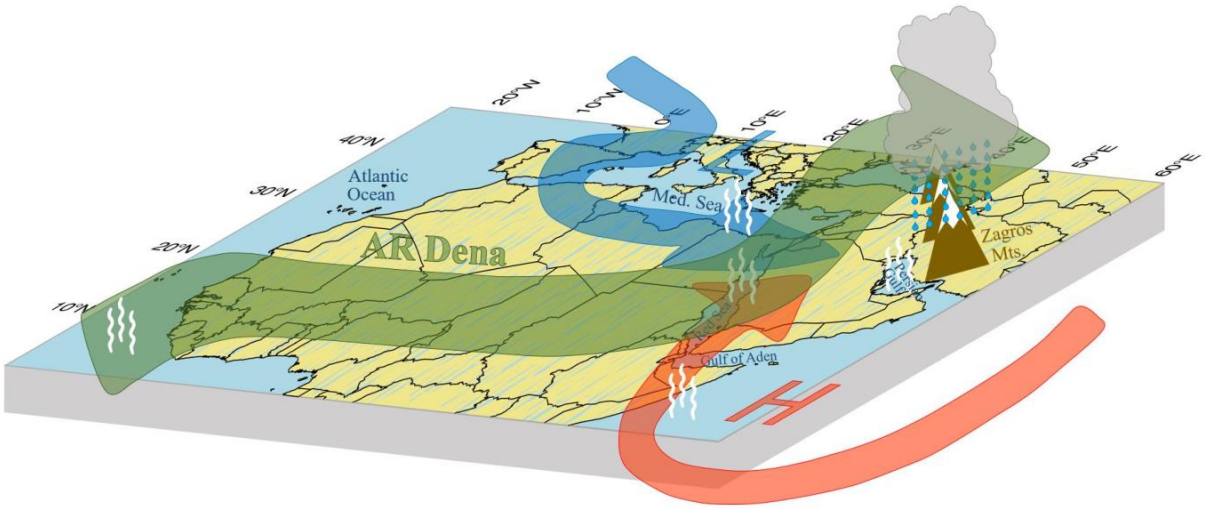
رودخانه‌های جوی عامل تعدادی از رخدادهای حدی آب و هوایی در دنیا هستند. مکانیزم و نقش آن‌ها در سیلاب های خاورمیانه به خوبی شناخته نشده است. این مطالعه نشان می‌دهد رودخانه جوی قوی‌ای که از اقیانوس اطلس شمالی سرچشمه گرفته بود دلیل سیل‌های بی‌سابقه در فروردین ۹۸ در خاورمیانه بوده‌است. کشور ایران به صورت خاص شدیداً تحت تاثیر این سیل‌ها قرار گرفت. رودخانه جوی‌ای به طول تقریبی ۹۰۰۰ کیلومتر در شمال آفریقا و خاورمیانه گسترش پیدا کرد و منابع متعدد دیگری در طول مسیر به میزان رطوبت آن افزودند. وجود هم‌زمان یک سیستم عرض میانه‌ای و جت استوایی به افزایش رطوبت این رودخانه جوی کمک کرد. نیروهای اروگرافی هنگام عبور این رودخانه جوی از کوهستان‌های زاگرس موجب بارش بی‌سابقه شدند. سیل جاری شده موجب خسارات گسترده به زیرساخت‌ها و مرگ حداقل ۷۶ نفر در ایران شد.

## مقدمه

بارش بی‌سابقه در اوایل فروردین ۹۸ موجب سیل بی‌سابقه در بسیاری از کشورهای خاورمیانه و خسارت و مرگ‌ومیر به ویژه در ایران شد. این بارش شدید، فصل آبی سال ۱۳۹۷ (مهر تا اسفند) را به پربارش‌ترین فصل در چهار دهه اخیر تبدیل کرد. این در حالی است که سال قبل خشک‌ترین فصل آبی در بازه زمانی مشابه بود. بنابراین این رویداد نمونه ای از تغییر سریع خشکسالی به ترسالی و تشدید رخدادهای حدی است که می‌تواند به دلیل تغییر اقلیم باشد. یک رودخانه جوی که از مناطق استوایی اقیانوس اطلس سرچشمه گرفته بود دلیل اصلی بارش‌های شدیدی بود که موجب جاری شدن سیل شد. در این گزارش تحقیقی برای تمایز از سایر رویدادهای بزرگ مشابه در منطقه، این رودخانه جوی دنا نامیده می‌شود. دنا بلندترین قله رشته کوه‌های زاگرس است و علت این نامگذاری تاثیر کلیدی این رشته کوه‌ها در شکل‌گیری بارش‌های سنگین در این رویداد است. رطوبت انتقال یافته توسط رودخانه جوی دنا معادل ۱۵۰ برابر مجموع جریان‌های چهار رودخانه اصلی در منطقه شامل دجله، فرات، کرخه و کارون بود. رودخانه جوی با این حجم رطوبت برای خاورمیانه نادر است. شرایط خاص آب‌وهوایی شامل اندرکنش جت‌های جوی در مناطق استوایی و فرا استوایی و دمای گرم‌تر از میانگین سطح دریا در کلیه آب‌های آزاد مجاور همه شرایط لازم برای تشکیل چنین رودخانه جوی عظیمی را فراهم کردند. مشخصه‌های مختلف رودخانه جوی دنا به صورت شماتیک در **شکل ۱** نشان داده شده‌اند و در بخش‌های بعدی بررسی خواهند شد.

*جهت دسترسی به نسخه اصلی مقاله به آدرس زیر مراجعه کنید:

https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/BAMS-D-19-0247.1



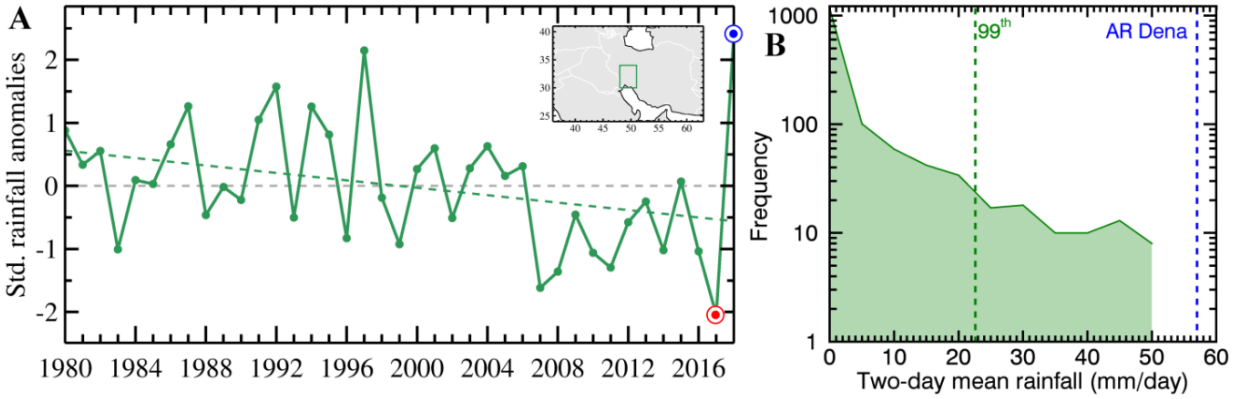

**شکل۱.** عوامل مختلف که موجب ایجاد رودخانه جوی دنا شدند. گستره رودخانه جوی (فلش سبز)، نواحی کم‌فشار (فلش آبی) و پرفشار (فلش قرمز) مربوط به سیستم آب و هوایی عرض میانی، تبخیر بر فراز دریاها و اقیانوس‌ها (فلش موج دار سفید) و دیگر عوامل جغرافیایی که در تشکیل رودخانه جوی و بارش نقش دارند نشان داده شده‌اند.

## اثرات سیلاب های فروردین ۹۸

برخی از رویدادهای حدی آب و هوایی در دنیا به دلیل رودخانه‌های جوی اتفاق افتاده‌اند. رودخانه‌های جوی دالان‌های باریک و درازی هستند که بخار آب را از منابع مرطوب استوایی یا فرا استوایی انتقال می‌دهند (Ralph *et al.* 2018). در حالی که مطالعات بسیاری اثر رودخانه‌های جوی بر حوادث طبیعی آب‌وهوایی در غرب آمریکا را نشان داده‌اند (Ralph *et al.* 2006; Guan *et al.* 2013; Lavers and Villarini 2015) مکانیزم و نقش آن‌ها در وقوع سیل در خاورمیانه به میزان کافی شناخته نشده‌اند (Krichak et al. 2012; de Vries et al. 2013; Tubi et al. 2017; de Vries et al. 2018; Akbary et al. 2019). در حقیقت این دو ناحیه شباهت‌های جغرافیایی از قبیل گستره عرضی، رشته کوه‌های جنوب‌شرقی- شمال‌غربی مشرف به جلگه‌های حاصلخیز و جت های جوی کم ارتفاع دارند (Kingsmill et al. 2013; Dezfuli et al. 2017). رشته کوه‌های موردنظر، زاگرس در خاورمیانه و سیرا-نوادا در غرب آمریکا و جلگه‌های مجاور آن‌ها به ترتیب هلال حاصلخیز (Fertile Crescent) و دره مرکزی (Central Valley) هستند.

افزایش تعداد و شدت رویدادهای حدی اقلیمی در دهه‌های اخیر مانند خشکسالی و سیل اثرات مخربی بر ساکنین و اکوسیستم‌های طبیعی در خاورمیانه گذاشته است (Hötzl 2008; Masih et al. 2011; Gleick 2014). بارش شدید ۵-۴ فروردین ۹۸ موجب وقوع سیلاب گسترده در بسیاری از کشورهای خاورمیانه و بطور خاص ایران شد. سری زمانی بارش برای ناحیه جنوب غربی ایران در طی فصل آبی (مهر-اسفند) نشان می‌دهد سال ۹۸-۹۷ مرطوب‌ترین سال در بازه زمانی ۱۳۹۸-۱۳۵۸ بوده است، در حالیکه سال قبلی خشک‌ترین سال این منطقه در بازه زمانی مشابه است (**شکل ۲-الف**). مجموع بارش‌های فصلی در هر دو سال بیش از دو برابر انحراف معیار از

میانگین بارش بلندمدت فاصله دارد که موجب بزرگ‌ترین تغییر سال به سال در طی چهار دهه گذشته شده‌است. این اتفاق مثالی محکم از تغییر از خشکسالی طولانی مدت به سیل‌های مکرر و مفهوم "شرایط حدی، حدی‌تر می‌شوند" در تغییرات اقلیمی است (Dettinger 2013; Swain et al. 2018). بارش‌های فروردین ۹۸ سهم عمده‌ای در مجموع بارش‌های فصلی داشته‌اند. میانگین دو روزه بارش در بازه ۵-۴ فروردین ۹۸ (اندازه‌گیری شده بوسیله‌ی داده های IMERG از ناسا)، ۵۷ میلیمتر در روز بود. این مقدار از ماکزیمم بارش تاریخی که تقریبا ۵۰ میلیمتر در روز است بیشتر است (**شکل ۲-ب**). در طی این رودخانه جوی، بارش در برخی مناطق حدود ۴۰۰ میلیمتر بود. میانگین منطقه‌ای اندازه‌گیری‌شده بوسیله‌ی ماهواره با مقادیر ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی سازگار بود.

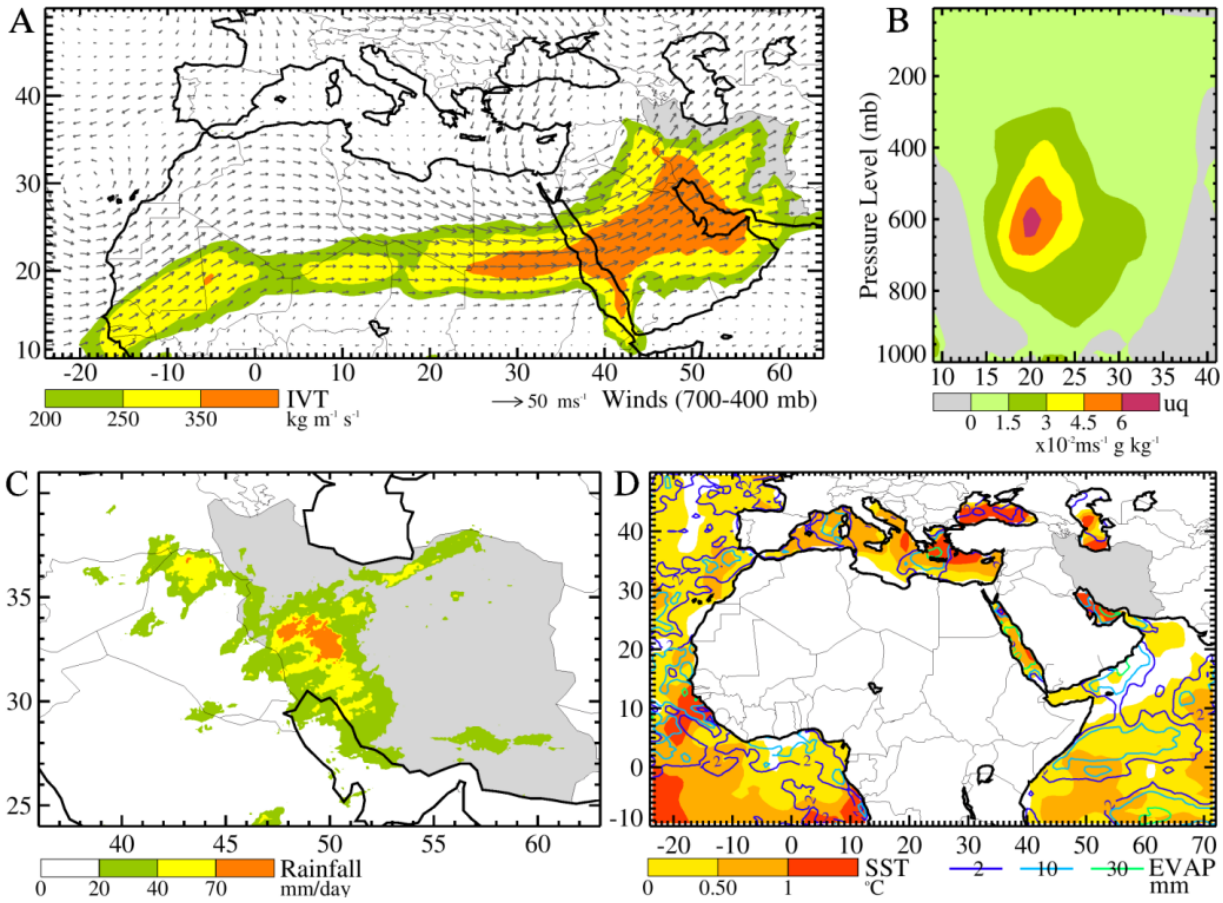



**شکل۲. الف.** تغییرات و فرکانس بارش. تغییرات سالانه بارش باران در طی فصل آبی (مهر-اسفند) در منطقه‌ای که بیشتر از بقیه تحت تاثیر سیل قرار گرفت (کادر سبز رنگ). داده‌های ماهانه GPCP Version 2.3 برای محاسبه مجموع بارش‌های فصلی برای هر سال در بازه ۱۳۹۸-۱۳۵۸ مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر کل با کسر میانگین و تقسیم بر انحراف معیار استانداردسازی شدند. خشک ترین (۹۷-۹۶) و مرطوب‌ترین (۹۸-۹۷) سال‌ها به ترتیب با دایره قرمز و آبی نشان داده شده‌اند. **ب.** هیستوگرام نرخ بارش میانگین دو روزه در همان منطقه از داده‌های روزانه GPCP 1DD V1.2 برای بازه زمانی ۱۳۸۴-۱۳۷۴. محور عمودی در مقیاس لگاریتمی است. صدک ۹۹ درصد (خط چین سبز) و متوسط روزانه میانگین دو روزه (خط چین آبی) مرتبط با رودخانه جوی دنا برای مقایسه نشان داده شده‌اند.

سیل های بی‌سابقه باعث خسارت در ۲۶ استان از ۳۲ استان ایران شد. حدود ۲,۵ میلیارد دلار خسارت مالی به زیرساخت‌ها، خانه‌ها و زمین‌های کشاورزی وارد شد. ۷۶ نفر کشته شدند و یک‌سوم جاده‌های کشور خسارت دیدند. هفتصد پل ویران شدند و بسیاری از مناطق مجبور به تخلیه شدند (Bozorgmehr 2019). میلیون‌ها آدم هنوز با تبعات این حادثه درگیر هستند. از آنجایی که سدهای بزرگ همگی به حداکثر ظرفیت خود رسیده بودند و توان نگهداری جریان ورودی بیشتر به دلیل ذوب شدن برف‌ها در فصل بهار را نداشتند، احتمال جاری شدن سیل تا هفته‌ها در این مناطق بالا بود.

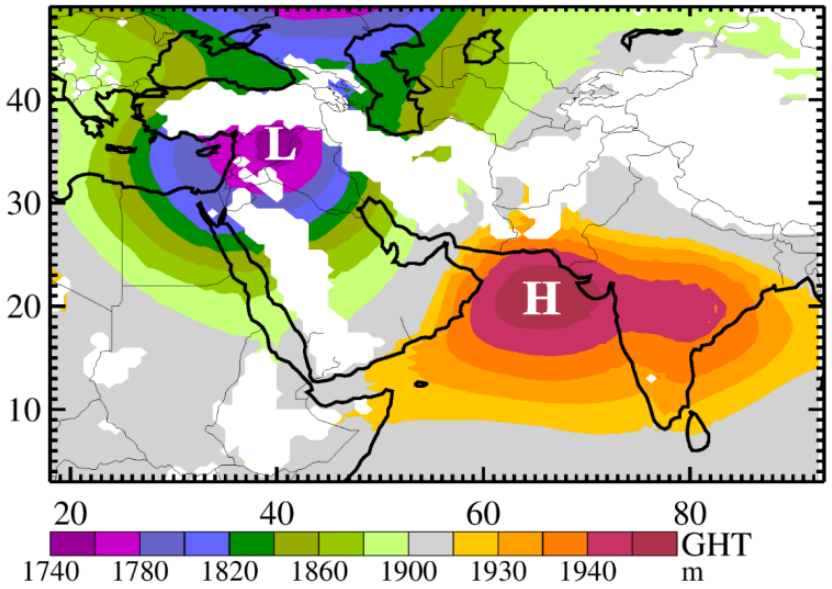
## عامل بارش‌های سنگین چه بود؟

معمولا انتقال بخار آب تجمعی در ستون هوا (IVT) برای شناسایی رودخانه‌های جوی استفاده می‌شود. ما توانستیم با استفاده از داده‌های روزانه IVT از یکی از محصولات ناسا (MERRA-2)، رودخانه جوی به طول حدود ۹۰۰۰ کیلومتر که از اقیانوس اطلس شمالی به سمت خاورمیانه و شمال آفریقا گسترش پیدا کرد را شناسایی کنیم (**شکل ۳-الف**). برای تجمیع اثرات پدیده‌های گوناگون موثر بر رودخانه‌ی جوی دنا، میانگین دو روزانه‌ی IVT و وضعیت سینوپتیک مرتبط با رخداد بررسی شدند.




**شکل۳**. رودخانه جوی دنا در خاورمیانه در بازه ۵-۴ فروردین ۹۸. **الف**. میانگین دو روزه انتقال بخار آب که نشان‌دهنده الگوی مکانی رودخانه جوی دنا و بادهای افقی (فلش‌ها) مرتبط با آن در لایه ۷۰۰-۴۰۰ mb است. **ب**. میانگین دو روزه ی سطح مقطع عمودی انتقال رطوبت محلی، اندازه گیری شده بین ۱۵ درجه ی غربی و ۵۲ درجه ی شرقیِ دنا. اطلاعات ماهواره ی MERRA-2 در دو شکل الف و ب استفاده شده است. **ج**. میانگین دو روزه ی شدت بارندگی در خاور میانه با استفاده از محصول IMERG. **د**. میانگین سالانه ی درجه حرارت سطح دریا در ماه مارس سال ۲۰۱۹ (اسفند ۹۷, فروردین ۹۸) با استفاده از داده های اداره ی ملی اقیانوسی و جوی آمریکا (نام محصول: NOAA OI SST V2) و میانگین سالانه ی تبخیر مرتبط (خطوط کانتور) با استفاده از داده های MERRA-2.

معمولاً از مناطقی با انتقال بخار آب بیش از ۲۵۰ کیلوگرم بر مترثانیه برای تعیین رودخانه جوی استفاده می‌شود (Ralph et al. 2018). در این مطالعه به دلیل پایین بودن میزان رطوبت هوا در خاورمیانه از عدد ۲۰۰ استفاده شد (de Vries et al. 2018). میزان انتقال بخار آب برای رودخانه جوی دنا هنگام عبور از منطقه ساحل-صحرا در آفریقا در جهت غربی-جنوب غربی بین ۲۰۰ تا ۳۵۰ کیلوگرم بر مترثانیه بود. در هنگام عبور از شمال آفریقا به بیش از ۳۵۰ واحد رسید و تا رسیدن به ایران همچنان بالا ماند. ماهواره ناسا بیشترین میزان بارش را در نیمه غربی ایران، جایی که رودخانه جوی دنا با رشته کوه‌های زاگرس برخورد کرد، ثبت کرد (**شکل ۳-ج**). هوای مملو از رطوبت در هنگام صعود (به دلیل نیروهای اروگرافی و فرآیندهای رشد میکروفیزیکی) سرد و موجب تقویت ابرها می‌شود (Houze 2012). به همین دلیل تولید بارش در کوهستان‌ها و سمت بادگیرشان بیشتر است. یک تخمین محافظه کارانه نشان می‌دهد حجم آب انتقال‌یافته توسط رودخانه جوی دنا در هنگام نزدیک شدن به رشته کوه‌های زاگرس ۱۵۰برابر دبی اروندرود (شط العرب) بوده است. این بزرگترین رود در بین‌النهرین است که پس از تلاقی چهار رودخانه بزرگ منطقه، دجله، فرات، کرخه و کارون به خلیج فارس می‌ریزد. این تخمین بر اساس انتقال بخار آب به حجم ۳۵۰ کیلوگرم بر متر بر ثانیه در پهنای ۱۰۰۰کیلومتری هسته رودخانه جوی است که به عنوان نمونه در شبه‌جزیره عربستان مشاهده شده است (**شکل ۳-الف**).

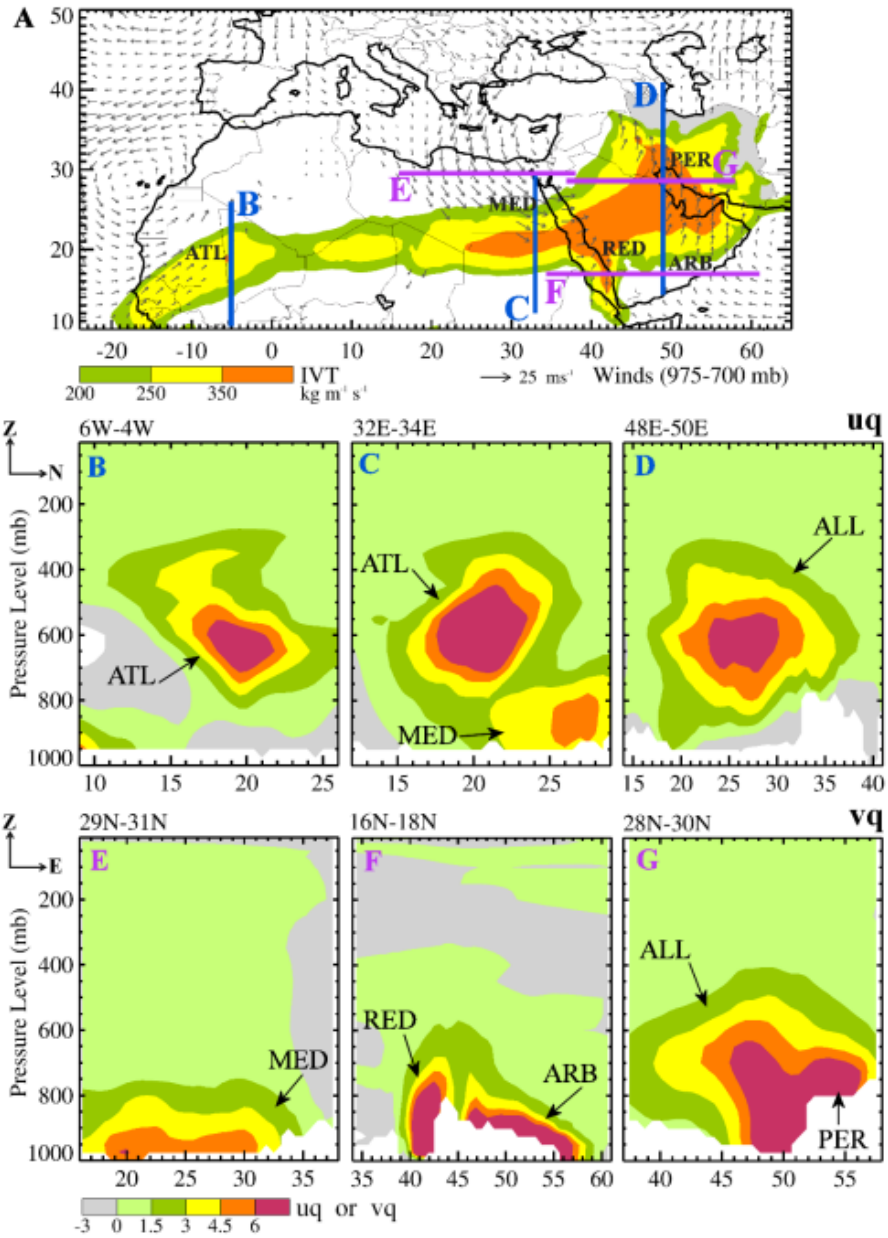



**شکل۴.** محل سیستم های کم‌فشار و پرفشار در طی رودخانه جوی دنا (۵-۴ فروردین)

## تحلیل سینوپتیک رودخانه جوی دنا

شرایط جوی و اقیانوسی در اوایل فروردین برای ایجاد چنین رودخانه جوی قوی‌ای در خاورمیانه بسیار مطلوب بود. در طی سفر دراز این رودخانه جوی از مناطق استوایی اقیانوس اطلس به ایران، رطوبت دنا احتمالاً توسط منابع متعدد دیگری که در مسیرش بودند افزایش یافت. همه آب های آزادی که به تشکیل دنا کمک کردند، در

اوایل فروردین گرم‌تر بودند. این می‌تواند دلیل بالاتر بودن تامین رطوبت توسط این دریاها باشد (**شکل ۳– د**). از آنجایی که تبخیر تاثیر مستقیم بیشتری در میزان رطوبت دارد، الگوی آن در منطقه مانند دمای سطح آب دریا نیز بررسی شده است. تبخیر بر فراز آب های آزاد به ویژه آن هایی که در مسیر بادهای مرتبط با رودخانه جوی قرار داشتند به صورت غیرعادی بیشتر از میانگین درازمدت بود.




**شکل۵.** سهم حوزه‌های مختلف در تشکیل رودخانه جوی دنا. **الف**. مشابه تصویر ۳-الف اما برای بادها در لایه ۹۷۵-۷۰۰mb **ب-د**. سطح مقطع عمودی انتقال رطوبت منطقه‌ای برای عرض‌های جغرافیایی نشان داده شده با رنگ بنفش در قسمت الف. واحد انتقال رطوبت $g\ kg^{-1}\ ms^{-1}$ ۱۰ است. آب های آزاد مختلف که موجب تشکیل این رودخانه جوی شده‌اند به صورت اقیانوس اطلس (ATL)، دریای مدیترانه (MED)، دریای سرخ (RED)، دریای عرب (ARB)، خلیج فارس (PER) و همه حوزه‌ها (ALL) در این تصویر نشان داده شده‌اند.



www.sosapoverty.org

نقشه GHT در لایه‌های پایینی جو( ۹۲۵-۷۰۰ mb ). مناطق با فشار سطحی کمتر از ۹۲۵ با رنگ سفید نشان داده شده‌اند. برای نمایش بهتر سیستم کانتورهای فشار به ترتیب به فاصله ۱۰ و ۲۰ متر برای مناطق پرفشار و کم‌فشار نشان داده شده‌اند.

حداکثر متوسط شار منطقه‌ای بخار آب در کل محدوده این رودخانه جوی در لایه ۷۰۰-۵۰۰mb بوده است (شکل ۳ب، تقریبا ۳۰۰۰ تا ۵۵۰۰ متر) و دلیل آن حضور یک جت استوایی سرچشمه گرفته از اقیانوس اطلس بوده‌است. این جت بعدا با یک سیستم هوایی عرض میانه برخورد کرد و تقریبا بر فراز دریای سرخ با آن ترکیب شد. قسمت کم‌فشار این سیستم در بالای سوریه و عراق و بخش پرفشار آن بر فراز دریای عرب قرار گرفتند (شکل۴). این شکل‌گیری انتقال رطوبت از دریای عرب، خلیج عدن و دریای سرخ به سمت رودخانه جوی را تسهیل کرد (شکل۵). این سیستم سهم رطوبت از حوزه مدیترانه که کوچک‌ترین سهم را در بین حوزه‌ها دارد را نیز کنترل و آن را به لایه‌های پایینی جو محدود کرد. خلیج فارس از طریق بادهای جنوبی که به مناطق پرفشار و جت کم ارتفاع زاگرس که خود توسط این سیستم آب و هوایی مستقر در عرض های میانه تولید می‌شود به افزایش رطوبت رودخانه جوی کمک کرد (Dezfuli et al. 2017). جت کم ارتفاع زاگرس مشابه جت کم ارتفاع سیرا است که با رودخانه جوی بر فراز کالیفرنیا اندرکنش دارد (Neiman et al. 2013). به دلیل اثر ترکیبی عوامل بالا در تشکیل رودخانه جوی دنا می‌توان آن را در دسته اندرکنش های استوایی-فرااستوایی قرار داد. این رخداد نمونه‌ای از انتقال رطوبت از منابع دور است که موجب تشکیل رودخانه جوی می‌شود و در ادامه همانطور که برای دیگر مناطق نشان داده شده است می‌تواند به دلیل بخار آب موجود در طی مسیر رودخانه جوی توسط منابع دیگر تقویت شود (Bosilovich and Schubert 2002; Knippertz 2007; Cordeira et al. 2013; Sodemann and Stohl 2013).

**مطالعات آینده**

این یادداشت کوتاه با بررسی یکی از رویدادهای حدی، اطلاعاتی درباره مکانیزم‌های موثر بر رودخانه‌های جوی در خاورمیانه فراهم کرد. مطالعه جامع کلیه رودخانه‌های جوی در این منطقه در محدوده تعریف شده برای این مطالعه نبوده است و تحقیقات ما در این زمینه همچنان ادامه دارد. ما تصمیم داریم تغییرات بین سالی رودخانه‌های جوی در خاورمیانه را با استفاده از داده های ۴۰ سال اخیر MERRA-2 بررسی کنیم. یافته‌های جدید به ما کمک خواهند کرد شناخت بهتری از فرآیندهای کنترل‌کننده رودخانه‌های جوی در خاورمیانه داشته باشیم. با استفاده از این اطلاعات و پیش بینی‌های زیرفصلی-فصلی ناسا می‌توانیم احتمال بارش‌های فصلی بی‌سابقه در منطقه را بهتر پیش‌بینی کنیم و اثرات مخرب آن‌ها را کاهش دهیم.

## سیل سراسری ایران. ابعاد، پیامدها و اقدامات

### تجربیات بومی اعضای جمعیت امام علی

میرمهدی سیدرضائی (فعال فجایای طبیعی)

در بخشی از این نشست، آقای میرمهدی سیدرضائی از اعضای جمعیت امام علی (ع) به ارائه گزارشی از عملکرد این نهاد مردمی در سیلاب‌های سال ۱۳۹۸ پرداخت. در مقدمه این گزارش ابتدا به ماموریت و چرایی فعالیت امدادی جمعیت در مواقع بحران و اولویت‌های امدادرسانی این نهاد اشاره شد. سپس تاریخچه فعالیت‌های امدادی از سال ۱۳۸۲ تا به امروز در هنگام بلایای طبیعی و نیز در مواقع بحران های ناشی از جنگ و حضور در کمپ آوارگان، بررسی گردید.

بررسی روند ارتقا سطح آمادگی اعضای این نهاد مردمی پس از زلزله کرمانشاه بخش دوم این گزارش بود. نظر به اهمیت مدیریت دانش امدادرسانی، کمیته مدیریت بحران امام علی پس از زلزله کرمانشاه، با برگزاری جلسات متعدد با اعضای فعال و کنشگران امدادی، تلاش داشته تا با راه اندازی چرخه یادگیری از دروس آموخته و افزایش آمادگی، پاسخ‌دهی مناسب‌تری در حوادث بعدی داشته باشد.

در بخش سوم این گزارش، شاکله فرآیندهای امدادی جمعیت در بازه های زمانی مختلف پس از وقوع بحران واکاوی شد و سپس با مرور گاه شمار سیل از لحظه شروع هشدارها تا آخرین اقدامات میان‌مدت و بلندمدت جمعیت در مناطق درگیر سیل، مقدمه‌ای بر شرح اقدامات به تفکیک استان‌ها فراهم شد. در این بخش، مهم‌ترین اقدامات و فعالیت‌های میدانی جمعیت در استان هایی با بیشترین آسیب دیدگی توضیح داده شد. توزیع خدمات امدادی و نیازهای ضروی، اعزام نیروهای متخصص و تسهیل‌گری محلی بخش عمده این فعالیت‌ها را در بازه کوتاه‌مدت پس از بحران شامل می شود. همچنین، نظر به اهمیت ساماندهی کمک‌های مردمی، در بخشی از این گزارش فعالیت‌های ستادی و تی‌بندی آن نیز مورد بررسی قرار گرفت.

بخش چهارم این گزارش، به موضوع مستندسازی و گزارش‌دهی به عنوان عاملی مهم در اعتماد عمومی و ساماندهی کمک‌های مردمی، اشاره شد. گزارش‌های به روز این نهاد چه در ارزیابی و شناسایی نیازها و چه در توزیع خدمات، باعث شفافیت عملکردی و اقبال مردمی جهت واسط قرار دادن این نهاد برای رساندن کمک‌هایشان شده بود.

در پایان و با توجه به اهمیت پرسشگری و مطالبه گری نهادهای مردمی، گزارش کوتاه از همایش سیل سراسری ایران "ابعاد، پیامدها و اقدامات" که در مرداد ۹۸ در دانشگاه شریف برگزار شده بود، برای حضار ارائه شد.

# داستان سه سیل: از بارانهای شدید استثنایی تا سیل ناشی از فعالیت های انسانی

**آنسه البرزی** (دانشگاه کالیفرنیا در ایروایِن)

**چکیده:**

طی یک دوره دو هفته ای، سه سیل گسترده در مناطق مختلف ایران رخ داد که منجر به ویرانی های بزرگی در سراسر کشور شد. رودخانه های زیادی بر روی مناطق شهری طغیان کردند و سرازیر شدن سدها خسارت فراوانی بر ساختمانهای مسکونی ، زیرساختها و زمینهای کشاورزی به وجود آورد. این بارندگی های شدید و جاری شدن سیل پس از چندین سال خشکسالی مداوم رخ داد. در این مطالعه، سه سیل مختلف و دلایل احتمالی آنها را که منجر به اثرات شدید آن شده است، بررسی می کنیم. این تأثیرات عمده شامل موارد زیر است: دو بارندگی شدید استثنایی (یعنی بارانهای شدیدی که هرگز قبلا مشاهده نشده بودند) ، و یک بارندگی غیر شدید که همه منجر به اثرات قابل توجهی شدند. ما علل اساسی این سه رویداد سیل را با تجزیه و تحلیل داده‌های مبتنی بر سطح زمین (بارندگی) و مشاهدات ماهواره‌ای پوشش برف، رطوبت خاک و تغییر کاربری زمین بررسی کرده‌ایم. همچنین برخی از عوامل ناشی از فعالیت‌های انسان که باعث تشدید تأثیر سیل در سراسر کشور می شوند را مورد مطالعه قرار داده‌ایم.

در مدت کوتاه دو هفته سیلاب‌هایی شدید در نقاط مختلف ایران در اواخر سال ۱۳۹۷ و اوائل سال ۱۳۹۸ اتفاق افتاد. جبهه هوایی در۲۶ اسفند ۱۳۹۷ تا ۲ فروردین ۱۳۹۸ استان‌های شمالی مازندران و گلستان را تحت تاثیر قرار داد و منجر به سیلاب وسیعی در استان گلستان شد. به دنبال آن، در ۵ فروردین، سامانه هوایی که کل جنوب غربی را در بر داشت، خسارت زیاد مالی و جانی به قسمت شهری شیراز زد. یک هفته پس از آن، بارش گسترده در همان منطقه جنوب غربی، باعث طغیان رودخانه کرخه و کارون گردید که طی آن استان لرستان بیشترین خسارت را دید. در تشکیل سیلاب، طی پروسه تبدیل بارش به رواناب، شدت بارش، مقدار رطوبت خاک و ذوب برف تاثیر گذار است. بنابراین در این تحقیق، داده‌های تاریخی ارتفاع بارش و داده‌های ماهواره‌ای رطوبت خاک و سطح برف بررسی شده است ( Soil Moisture Active Passive (SMAP) and Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)).

## سیل گلستان

در سیلاب استان گلستان، که در حوضه آبی گرگانرود رخ داد، محدوده طغیان از شهر گنبد تا آق قلا می‌باشد. برخی از ایستگاه‌های بارانسنجی فقط در طی ۳ روز، حدود ۵۰ ٪ بارش سالانه را دریافت کرده است: ۳۳۸ م.م

توسکاچال. سیلاب اخیر با سیلاب های تاریخی این استان برای مثال سال ۲۰۰۱ از نظر وسعت و زمان متفاوت است. بیشتر سیلابهای پیشین در اواسط تابستان اتفاق افتاده است.

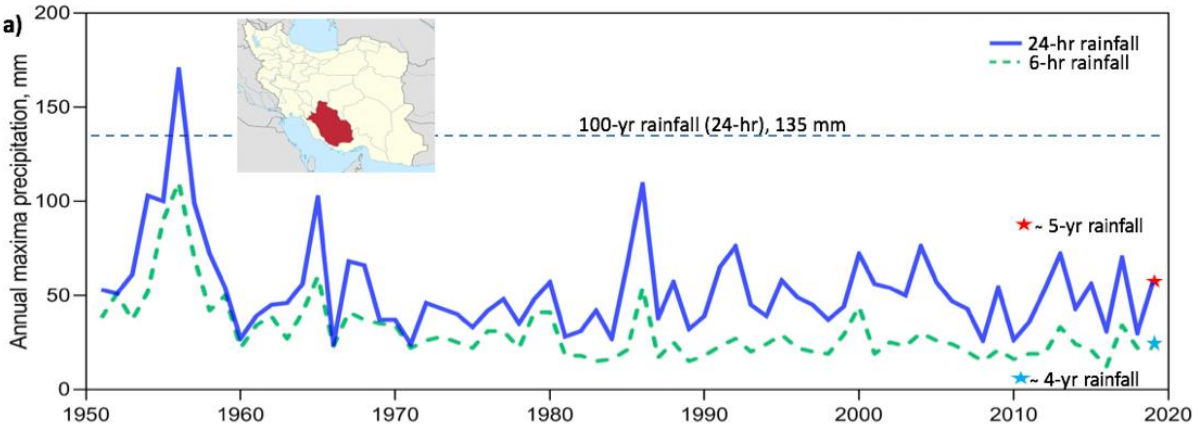
با استفاده از مدل تحلیل فراوانی ProNEVA (Process-informed Nonstationary Extreme Value Analysis, Ragno et al., 2019)، دوره بازگشت بیشینه سالانه بارش ۲۴ ساعته بیش از ۲۰۰ سال برآورد شده است. همچنین روند افزایشی در داده‌های بلندمدت، بیشینه سالانه بارش ۲۴ ساعته مشاهده می‌شود که نشاندهنده مواجهه با بارشهای حدی شدیدتر می‌باشد. از طرفی دیگر، بارش کل سالانه، روندی کاهشی دارد، و بیانگر مواجهه با سالهای کم آب‌تر هست.

همچنین عوامل متعدد انسانی به وخامت سیلاب در استان گلستان دامن زدند. مقایسه تصاویر ماهواره ای از نوع پوشش زمین (MODIS) نشاندهنده ۱۱ ٪ جنگلزدایی فقط در طی ۱۰ ساله بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶ می‌باشد. همچنین سدهای مخزنی استان برای مثال سد گلستان، حتی قبل از وقوع سیل تقریبا پر بوده‌اند و لذا به دلیل ظرفیت کمتر برای کنترل سیلاب، آبگرفتگی در پائین دست این سدها به میزان کافی مهار نشده است.

**سیل شیراز**

در حوزه آبریز کوچک شهری به وسعت ۲۴ کیلومترمربع در ۵ فروردین، سیلاب ناگهانی در تنگه دروازه قرآن خسارت جانی و مالی فراوانی را در شهر شیراز موجب شد. با اینکه پوشش گیاهی تهی و شیب زیاد این حوضه تا ٪۶۰ وقوع سیل ناگهانی را تشدید می‌کند، تغییرات بنیادی که در مسیر طبیعی رودخانه اعمال شد، ابعاد وخامت این سیل را افزایش داد.

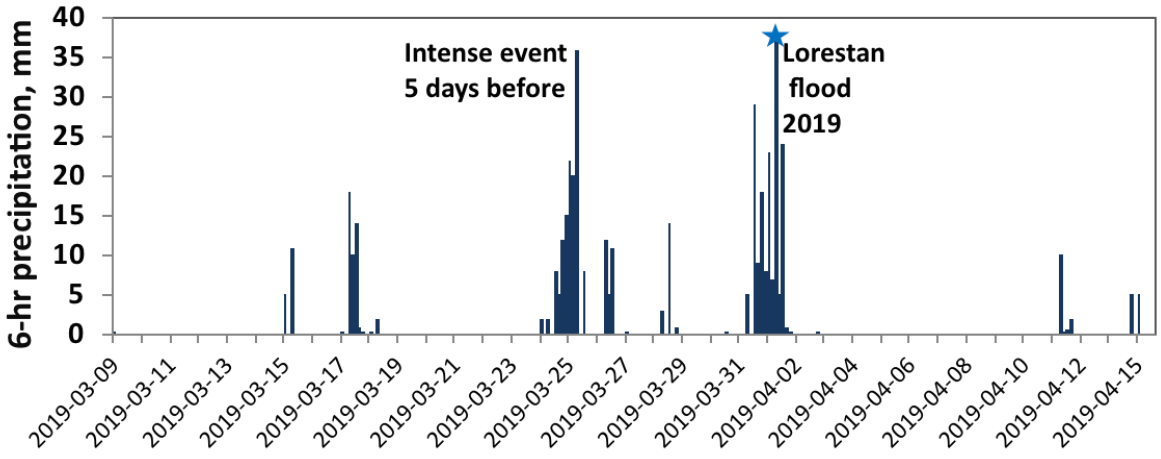
آنالیز فراوانی بارش (**شکل ۶**) نشان می‌دهد که بارش متناظر این سیلاب، دوره بازگشتی کمتر از ۵ سال داشته است. بنابراین جایگزینی بستر طبیعی رودخانه با لوله به قطر۱/۵ م که ظرفیت مناسب برای تخلیه استخر آرامش (۳۰۰ م بالادست دروازه قرآن) را نداشته، موجب تشدید سیلاب شده است. از مقایسه تصاویر ماهواره ایی (GHS-SMOD) بین سالهای ۱۹۷۵ و ۲۰۱۵، حدود ۱۰ کیلومترمربع افزایش توسعه شهری و روستایی در این حوزه براورد شده است که بیش از یک سوم مساحت کل است.



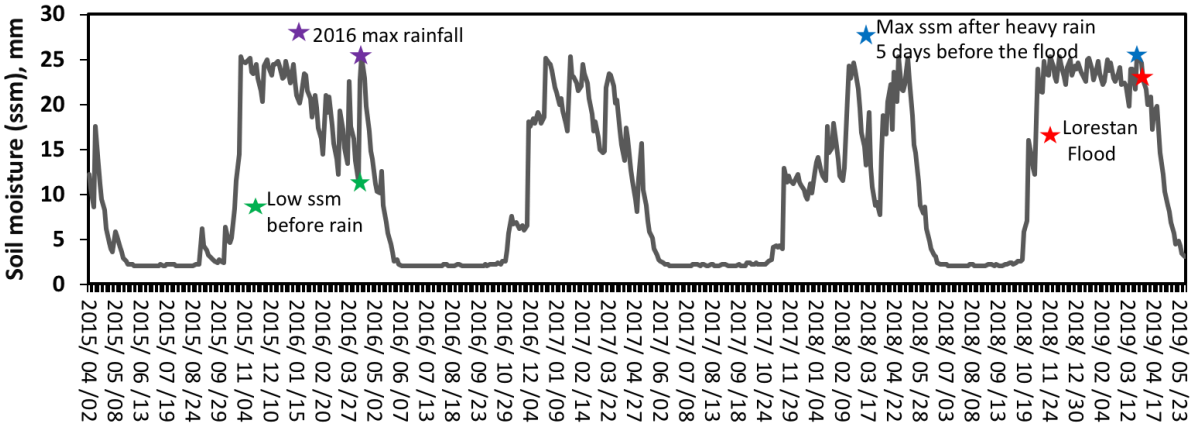

**شکل ۶.** آنالیز فراوانی بارش در استان فارس بر اساس دوره ۲۴ ساعته و ۶ ساعته بارش بین سال های ۱۹۵۰ تا ۲۰۲۰. این تحلیل نشان می دهد که دوره بازگشت بارش های شدید ۴ تا ۵ سال بوده است.

## سیل لرستان

یک هفته پس از سیل شیراز در ۱۲ فروردین، بارش گسترده و سنگینی در حوزه‌های کرخه و کارون باعث طغیان رودخانه به خصوص در استان لرستان شد. شهرهای خرم آباد، معمولان و پلدختر بیشترین آسیب را دیدند. بر اساس تحلیل فراوانی، بیشینه سالانه بارش ۲۴ ساعته این رویداد شدید و رویدادی ۶۰ ساله می‌باشد، ولی بارش‌های تقریبا مشابه در گذشته اتفاق افتاده بود. از طرفی دیگر بیشینه سالانه بارش ۱۰ روزه به طور قابل ملاحظه ایی از مقادیر تاریخی بزرگتر می‌باشد، این به آن دلیل هست که ۵ روز پیش از بارش ۱۲ فروردین، بارش بیشینه حدی دیگری در این منطقه اتفاق افتاد (**شکل ۷**). همچنین، وجود خاک از پیش اشباع شده در منطقه، بزرگی روان آب ناشی از بارش را بیشتر کرد (**شکل ۸**).




**شکل ۷.** توزیع بارش در فاصله دو هفته قبل تا دو هفته بعد از سیل لرستان.




**شکل ۸.** تغییرات رطوبت خاک در طی ۴ سال قبل از رخداد سیل در لرستان

همچنین تغییرات ناشی از توسعه شهرسازی در تشدید کردن آسیب‌های این سیل تاثیرگذار بودند. برای مثال، در شهر پل دختر که خسارت زیادی وارد شده، عرض رودخانه به دلیل کانال‌کشی و سیل بندها نسبت به عرض بستر طبیعی آن کاهش یافته که منجر به افزایش ارتفاع آب در سیل شده است.

نسخه کامل این مقاله بزودی منتشر خواهد شد و از طریق سایت دکتر امیر آقاکوچک در دانشگاه کالیفرنیا در ایروین قابل دسترسی خواهد بود.