



بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر بارش و سیل (مطالعه موردی سیل فروردین 1398 ایران)

مهناز احمدی نمین^{1*}، علی کاظمیان²

1- کارمند سازمان هواشناسی و دانشجوی دکترای علوم و مهندسی آب - هواشناسی
کشاورزی - دانشگاه تهران

2- کارمند سازمان هواشناسی و کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی

*نویسنده مسئول: Mahnaz.ahmadi.n@ut.ac.ir

چکیده

اقلیم این سیاره همیشه در حال تغییر بوده و بشر باعث تسریع وقوع تغییرات شده است. از نتایج تغییر اقلیم، تأثیر بر وقایع حدی مانند سیل می باشد که هر ساله به علت تغییر الگوی بارش و تصمیم گیری های اشتباه بشر موجب خسارات مالی و جانی می گردد. فروردین 1398 یکی از نمونه های تغییر الگوی بارش در کشور ایران بود که موجب خسارات بسیاری گردید. در این مقاله به بررسی روند بارش، دما اندازه گیری شده در ایستگاه، با استفاده از ماهواره و برآورد میزان سیل با استفاده از تصاویر ماهواره در مناطق خسارت دیده پرداخته شده است. علل و عوامل موثر در ایجاد سیلاب ها و همچنین خسارت های مختلف ناشی از این سیلاب ها در شهرستان های مورد مطالعه شناسایی شده است. در سیل اخیر در استان گلستان سه سد وشمگیر، گلستان و بوستان داری حجم 120 میلیون متر مکعب در کل که حجم مرده (رسوب) را شامل شود. میزان بارش در مدت 5 روز از این مقدار بیشتر بوده و موجب ایجاد جریان مستقیم گشته است که با ذوب برف میزان تخمین زده به 4 برابر افزایش یافت. نتایج نشان می دهد که در سال 1398 میزان بارش تفاوت چشمگیری از حالت داشته و حتی به چند برابر هم رسیده است. راهکار تغییر روند کاری شناسایی شرایط مستعد سیل تا اقدام در این مقاله ارائه شده است.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، سیل، بارش، TRMM

مقدمه

انواع اصلی سیل شامل طغیان رودخانه، سیل ساحلی، سیل های ناگهانی و سیل شهری می باشد. عوامل زیادی مانند وقایع آب و هوایی (باران های شدید یا طولانی، باران های طوفانی، برف ناگهانی) و عناصر انسانی ساز از جمله نحوه مدیریت آبراه ها (سدها، دریاها و مخازن آبی) و تغییراتی که در آنها بوجود می آوریم، می توانند در ایجاد سیل موثر باشند. به عنوان مثال، افزایش شهرنشینی، آسفالت، تجاوز به حریم رودخانه ها و ایجاد سایر سطوح غیرقابل نفوذ که سیستم زهکشی طبیعی را تغییر می دهد و اغلب منجر به ساخت خانه های بیشتری در دشت های سیلابی می شود. در شهرها، زیرساخت ها ممکن است منجر به جاری شدن سیل شهری شود. بیشتر عوامل ایجاد سیلاب با تغییرات آب و هوا مرتبط می باشند.

همه سیلاب ها قابل مدیریت نیستن اما از آنجا که ماهیت سیل های ناگهانی با سیل های بهاره ها قابل پیش بینی می باشد می توان در غالب نظام نامه مدیریت سیلاب وزارت نیرو مصوب سال 1395 آنرا در جهت کاهش خسارت مدیریت نمود. سیلاب بر حسب منشأ آن که می تواند سیلاب ناشی از بارش، بالا دست و دریا باشد. در سیل اخیر ناشی از بارش توأم با ذوب برف ناشی از گرم شدن هوا اتفاق افتاد. میزان



بارندگی تجمعی استانی از ابتدای سال آبی 1397/1/7 الی 1398/6/27 (سال آبی 97-98) در جدول 1 آورده شده است.

جدول شماره 1: میزان بارندگی تجمعی استانی از ابتدای سال آبی 1397/1/7 الی 1398/6/27 (سال آبی 97-98) (میلیمتر)

استان	درصد اختلاف نسبت به			متوسط درازمدت	
	سال آبی جاری	سال آبی گذشته	متوسط درازمدت	سال آبی گذشته	متوسط درازمدت
آذربایجان شرقی	۳۸۰.۲	۳۶۲	۲۹۷.۹	۵	۲۷.۶
آذربایجان غربی	۵۲۲.۶	۴۴۳.۲	۳۵۸.۸	۱۷.۹	۴۵.۷
اردبیل	۳۲۱.۴	۳۰۵.۷	۳۲۷	۵.۱	۱.۷-
اصفهان	۱۹۶.۴	۱۱۲.۸	۱۵۴	۷۴.۱	۲۷.۵
البرز	۵۸۴.۱	۳۵۴.۴	۴۰۵	۶۴.۸	۴۴.۲
ایلام	۸۹۷.۴	۳۹۹.۹	۴۰۴.۱	۱۲۴.۴	۱۲۲.۱
بوشهر	۳۰۵.۳	۱۰۸	۲۳۶.۷	۱۸۲.۷	۲۹
تهران	۳۸۷.۴	۲۴۱.۸	۲۷۲.۴	۶۰.۲	۴۲.۲
چهارمحال و بختیاری	۹۷۸	۳۹۴	۶۴۹	۱۴۸.۲	۵۰.۷
خراسان جنوبی	۱۴۸.۶	۸۵.۳۲	۱۱۴.۰۵	۷۴.۲	۳۰.۳
خراسان رضوی	۲۹۵.۶	۱۱۹.۵	۱۸۳.۱	۱۴۷.۴	۶۱.۴
خراسان شمالی	۴۰۷.۵	۱۷۷.۲	۲۵۳.۱	۱۳۰	۶۱
خوزستان	۵۷۵	۲۱۰	۳۵۲.۴	۱۷۳.۸	۶۳.۲
زنجان	۴۱۵.۶	۳۲۱.۸	۳۱۳.۶	۲۹.۱	۳۲.۵
سمنان	۱۷۵.۴	۱۰۰.۸	۱۱۸.۹	۷۴	۴۷.۵
سیستان و بلوچستان	۱۱۳.۲	۲۹.۷	۱۰۴	۲۸۱.۱	۸.۸
فارس	۳۷۶.۴	۱۳۲.۷	۳۰۳.۶	۱۸۳.۶	۲۴
قزوین	۴۳۲	۳۱۷.۱	۳۱۷.۳	۳۶.۲	۳۶.۱
قم	۲۶۱	۱۴۲	۱۵۸	۸۳.۸	۶۵.۲
کردستان	۶۵۹.۶	۴۹۶.۸	۴۲۰.۸	۳۲.۸	۵۶.۷
کرمان	۱۷۴.۲	۵۲.۷	۱۳۴.۳	۲۳۰.۶	۲۹.۷
کرمانشاه	۷۶۶.۱	۴۹۰.۵	۴۷۵	۵۶.۲	۶۱.۳
کهگیلویه و بویراحمد	۱۰۱۸.۷	۳۵۵.۷	۶۱۸.۷	۱۸۶.۴	۶۴.۷
گلستان	۷۴۶	۴۳۱.۵	۴۷۴.۵	۷۲.۹	۵۷.۲
گیلان	۱۲۱۲.۳	۷۷۳.۷	۱۰۰۹.۷	۵۶.۷	۲۰.۱
لرستان	۱۱۵۸.۵	۵۳۱.۴	۵۴۸	۱۱۸	۱۱۱.۴
مازندران	۷۷۸.۴	۵۳۱.۵	۶۲۳.۲	۴۶.۵	۲۴.۹
مرکزی	۴۷۶.۸	۲۳۲.۵	۲۷۶.۳	۱۰۵.۱	۷۲.۶
هرمزگان	۲۷۱.۸	۶۴.۷	۱۸۲.۸	۳۲۰.۱	۴۸.۷
همدان	۶۰۶.۵	۳۸۹.۵	۳۴۶.۲	۵۵.۷	۷۵.۲
یزد	۱۱۹.۸	۷۰.۱	۹۲.۶	۷۰.۹	۲۹.۴

از 26 اسفند (17 مارس 2019) 1397 تا 11 فروردین 1398 (1 آوریل 2019)، ایران تحت تاثیر سه سامانه نسبتاً قوی قرار گرفت که منجر به وقوع بارش و سیلاب بی سابقه در مناطق حاشیه دریای خزر، غرب و جنوب غرب ایران گردید. این رخدادهای حدی، بر اساس آخرین گزارش ها حدود 70 کشته به دنبال داشته است. وقوع بارش و سیلاب بی سابقه در فروردین 1398، می تواند یکی از پیامدهای گرمایش جهانی باشد. سامانه بارشی در ۵ فروردین ماه ۱۳۹۸، موجب ایجاد سیلاب و خسارت های جانی و مالی در ۲۵ استان ایران شد. این سیلاب ها در روز نخست، حداقل ۱۹ کشته در استان های مختلف کشور برجای گذاشت. در ۴۸ ساعت نخست این بارش ها بر شدت بارندگی در مناطق جنوب و جنوب غرب ایران افزوده شد.

موج دوم بارش ها در ۱۱ فروردین ۱۳۹۸ آغاز شد و شهرهای غربی و جنوبی کشور را دربرگرفت. پس از این بارش ها، هشدار سیل و آماده باش در ۲۳ استان ایران اعلام شد. بارش شدید در بسیاری از نقاط ایران، به ویژه در مناطق غرب کشور ادامه داشت و تا روز پنجشنبه نیز برخی استان ها با خطر وقوع سیلاب های بیشتر روبه رو شدند.



میانگین بارش استان های پرباران در فاصله زمانی یادشده به مقدار 5/58 میلیمتر ثبت گردید که در مقایسه با دوره مشابه بلندمدت (1/19 م.م) افزایش را نشان می دهد. بیشترین بارش در دوره یادشده در استان لرستان به میزان 5/221 م.م. رخ داد که تقریباً 5 برابر میانگین بلند مدت آن می باشد. بعد از آن استان چهار محال و بختیاری رتبه دوم بارش را با 8/167 م.م. داشته است. بارش های این دو استان در فاصله زمانی 9 تا 11 فروردین و طی فعالیت دو سامانه بارشی رخ داد که به دلیل حجم زیاد بارش در روز دوشنبه 11 فروردین موجب وقوع سیلاب سهمگین در استان های غربی کشور به ویژه استان لرستان گردید. در طی سیلاب مذکور، بیشتر مناطق دو شهر پلدختر و معمولان در استان لرستان به زیر آب فرو رفتند. (پژوهشکده اقلیم شناسی، 1398). جدول 2 نمایانگر مجموع بارش استان های پرباران کشور از تاریخ 26 اسفند 1397 تا 11 فروردین 1398 می باشد.

جدول 2 - مجموع بارش استان های پرباران کشور از تاریخ 26 اسفند 1397 تا 11 فروردین 1398

نام استان	میزان میانگین بارش	متوسط بارش بلند مدت	میزان اختلاف مقدار بارش با بلند مدت
1 لرستان	5/22	5/44	177
2 چهارمحال و بختیاری	8/167	4/52	4/115
3 گلستان	1/162	8/27	2/134
4 همدان	8/156	6/30	2/126
5 کرمانشاه	2/141	5/42	8/98
6 کهگلویه و بویر احمد	8/127	9/46	8/80
7 مرکزی	7/125	4/23	3/102
8 مازندران	1/120	6/32	6/87
9 ایلام	5/117	6/37	9/79
10 گیلان	5/98	5/39	9/58
11 فارس	5/93	1/29	4/64
12 خراسان شمالی	2/85	1/22	1/63
کل کشور	5/58	1/19	4/39

جدول 3 - مناطق خسارت دیده و تلفات ناشی از آن در سیل فروردین 1398

مکان سیل	تاریخ	خسارت جانی (نفر)	خسارت مالی
1 گلستان و مازندران	فروردین 1398	۲۲ کشته و بیش از ۱۹۰ مصدوم	-
2 شیراز	8 صبح 5 فروردین 1398	مجموعاً 39 کشته	-
3 خوزستان	فروردین 1398	-	-
4 ایلام	فروردین 1398	-	-
5 لرستان	فروردین 1398	۱۵ کشته و 256 مصدوم	-
6 کرمانشاه و سرپل ذهاب	-	2+2 کشته	۲ هزار و ۱۸۵ واحد مسکونی

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه و وضعیت سیل فروردین ۱۳۹۸:

شیراز
سیل در شیراز باعث آب گرفتگی معابر و واژگونی خودروها در بخش های مختلف شهر شد. حدود ۲۰۰ خودرو در ابتدای جاده شیراز تهران کنار دروازه قرآن شیراز به علت بارندگی شدید در عرض ده دقیقه بر اثر سیل واژگون شدند. در این حادثه ۲۲ کشته و بیش از ۱۹۰ مصدوم گزارش شد.
کرمانشاه

طغیان رودخانه الوند در سرپل ذهاب زندگی ساکنان این منطقه را که از زمان زلزله کرمانشاه در چادر و اتاق های پیش ساخته ساکن بودند، با دشواری های رو به رو کرد. فرماندار سرپل ذهاب در استان کرمانشاه از جان باختن یک نفر در یکی از روستاهای



منطقه در اثر سیلاب خبر داد و همچنین در ۱۵ فروردین جسد یک نفر دیگر نیز در کنار هرسین و به علت طغیان رودخانه با بازدید غرق شده بود کشف شد.
کرمانشاه

طغیان رودخانه الوند در سرپل ذهاب زندگی ساکنان این منطقه را که از زمان زلزله کرمانشاه در چادر و اتاقهای پیش ساخته ساکن بودند، با دشواریهایی رو به رو کرد. فرماندار سرپل ذهاب در استان کرمانشاه از جان باختن یک نفر در یکی از روستاهای منطقه در اثر سیلاب خبر داد و همچنین در ۱۵ فروردین جسد یک نفر دیگر نیز در کنار هرسین و به علت طغیان رودخانه با بازدید غرق شده بود کشف شد. در اثر وقوع سیل در استان کرمانشاه در مجموع ۲ هزار و ۱۸۵ واحد مسکونی در استان آسیب دید که از این میزان ۱۵۳ واحد شهری و بقیه روستایی بودند. از ۱۵۳ واحد مسکونی شهری، ۷۳ واحد در بستر رودخانه قرار داشتند.
خوزستان

بر اثر شکسته شدن سیلبندهای روستاهای اروندکنار و وقوع سیل در این روستاها دو کودک سه و شش ساله در نهر قصر، در مرکز اروندکنار جان باختند. سیل در این منطقه به علت مد دریا و ورود آب آن به رودخانه و طغیان آب نهرهای روستاها ایجاد شده بود. همچنین در پی رهاسازی آب سدها در بالادست رودخانه کارون، حجم آب این رودخانه در مقطع پایین دستی خرمشهر به شکل کم سابقه‌ای افزایش یافت.

لرستان

نوشتار اصلی: لرستان

موج اول

سیل در لرستان موجب مرگ پنج نفر شد. سامانه‌های بارشی در این استان در روز ۶ فروردین فعال‌تر شده و الیگودرز بیشترین بارش را داشت. در پنجم فروردین شهر پلدختر با ۱۰۸ میلی‌متر بارندگی بیشترین میزان بارش در استان لرستان را داشت.

موج دوم

با شروع موج دوم بارش‌ها در ۱۲ فروردین، از استان لرستان خسارات سنگینی همچون رانش زمین و به زیر آب رفتن بخش‌هایی از خرم‌آباد، معمولان و پلدختر و ... گزارش شد. در پی وقوع سیل در برخی مناطق استان لرستان، ارتش امکانات لجستیکی خود را از کرمانشاه به لرستان اعزام کرد. چند روز پس از موج دوم، سیل شهرک‌ها و روستاهای اطراف پلدختر را نیز دربر گرفت و تعداد کشته شدگان سیل در این استان به ۱۵ نفر رسید. (در موج اول پنج کشته + ۱۰ کشته در موج دوم) استان لرستان بیشترین آمار مصدومین را با حدود ۲۵۶ مصدوم در بین استان‌های کشور داشت.

ایلام

استان ایلام در هفته دوم فروردین بیشتر دچار خسارت شد و در دوازدهم فروردین برای ساعتی راه‌های ارتباطی تلفنی به این استان قطع شد.

هرمزگان

بارش باران شدید باعث جاری شدن سیلاب و آب‌گرفتگی در برخی از محله‌های شهر بندرعباس هم شد؛ براساس گزارش‌ها در پی این بارش‌ها در مناطق حاشیه‌ای این شهر آب به داخل خانه‌ها نیز نفوذ کرد.

اراک

بارش باران از عصر روز ۱۰ فروردین تا شب ۱۲ فروردین باعث طغیان خشکه رود اراک شد که باعث گرفتار شدن چندین روستای حاشیه تالاب میقان شد. همچنین جاری شدن سیلاب در اراک باعث تخلیه چندین روستا و خسارت‌های شدید مالی به ساکنین شهرستانی اراک و کمیجان شده بود.

تمامی خانه‌های نزدیک به سد کرهرود تخلیه و عملیات تخلیه آب با پمپ با کمک مردم آغاز شد.



سیلاب در مجموع از ۱۸ نقطه به تالاب میقان اراک هدایت شد. شدت بارش در خنداب، غرق آباد، کميجان، شازند، اراک و خمین بیشتر از دیگر شهرستانهای استان مرکزی پیش بینی شده بود. همچنین دو روستای امامزاده عباس و مهدی آباد کميجان به دلیل آبگرفتگی اراضی کشاورزی تخلیه شدند.

تلفات

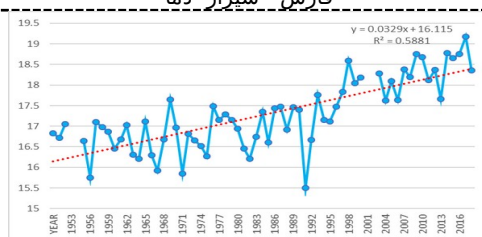
آمار کشته شدگان این حادثه به درستی مشخص نیست. اما براساس اعلام سازمان صدا و سیما در ۱۶ فروردین فروردین ۱۳۹۸، ۵۰ نفر در استانهای جنوب و غرب کشور در مدت سیلهای فروردین ۱۳۹۸ جان خود را از دست داده اند. از این تعداد ۲۱ نفر در شیراز، ۳ نفر در خراسان شمالی، ۲ نفر در کهگیلویه و بویراحمد، ۱۵ نفر در لرستان، ۵ نفر در استان همدان، دو نفر در کرمانشاه، یک نفر در خوزستان، یک نفر در استان سمنان و یک نفر هم در خراسان رضوی بودند. همچنین افزون بر این افراد در جریان سیل گلستان و مازندران را نیز به ترتیب در این استانها ۸ و ۵ نفر کشته شدند.

داده:

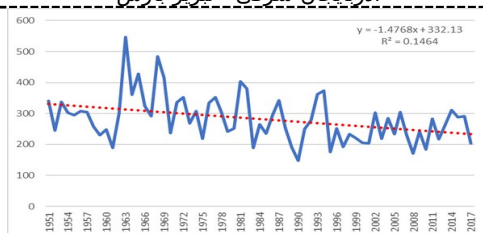
داده های بارش ماهواره های TRMM و GPM از پایگاه مرکز خدمات مطالعات و داده علوم زمین (گودارد^۱) (ناسا) دریافت گردید. با استفاده از داده های بارش ماهواره ای زمان واقعی (TPA^۲) و اندازه گیری بارش جهانی (GPM^۳) و یکپارچه نمودن اطلاعات بارندگی (IMERG) و ورود اطلاعات به مدل شبه جهانی رواناب استفاده شده است. که محصول بارشی با وضوح بالا با پوشش کامل ایجاد نموده است. وضوح تفکیک سیل این مدل 8/1 درجه می باشد. مقدار شدت سیل محاسبه شده بر حسب عمق سطح آب بالای زمین خشک [میلی متر] بالاتر از آستانه سیل می باشد.

مقدار شدت سیل محاسبه شده که هر 3 ساعت یکبار میزان سیل، از تاریخ 20 اسفند 1397 تا 30 فروردین مورد بررسی قرار گرفت. به دلیل زیاد بودن تعداد نقشه ها، چند نمونه از تصاویر ماهواره ای وقوع سیل در جدول؟؟؟ قرار داده شده است.

شکل 1- روند تغییرات دما و بارش را در طی دوره آماری 1951-2017
فارس - شیراز - دما

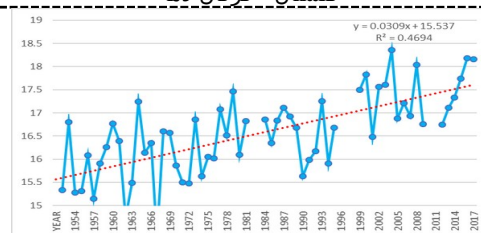


آذربایجان شرقی - تبریز - بارش



اصفهان - بارش

گلستان - گرگان - دما



کرمانشاه - کرمانشاه - دما

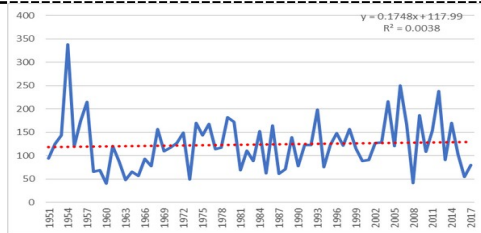
1. Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center
2. TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis
3. Global Precipitation Measurement



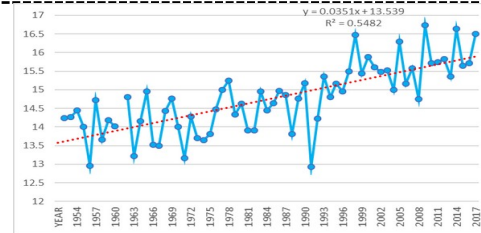
دومین همایش ملی راهبردهای مدیریت منابع آب و چالشهای زیست
محیطی
ساری- 30 دی 1399



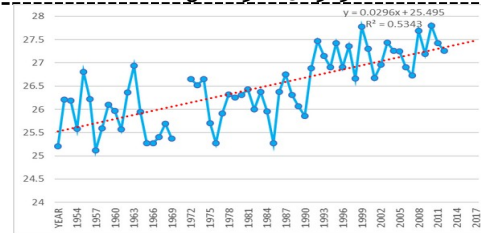
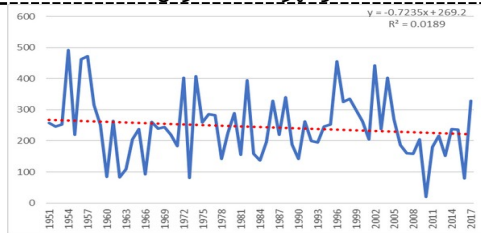
دانشگاه علوم کشاورزی
و منابع طبیعی ساری



بوشهر ساحلی- بارش



هرمزگان-بندر عباس- دما



در سیل اخیر در بخش گلستان سه سد وشمگیر، گلستان و بوستان وجود دارد که حجم این سدها 120 میلیون متر مکعب در کل می باشد. از این حجم بخشی شامل حجم مرده یا رسوب می باشد. میزان بارش در مدت 5 روز از این مقدار بیشتر بوده و موجب ایجاد جریان مستقیم گشته است. با ذوب برف این میزان به 4 برابر افزایش یافت.

نتیجه گیری

دوره بازگشت سیل مهم می باشد. سیل با دوره بازگشت 500 و یا 1000 ساله که یک سیل استثنایی می باشد اما تضمینی برای وقوع یا عدم وقوع آن نمی باشد و در هر زمانی احتمال وقوع آن محتمل می باشد. با بررسی و شناسایی نقاط مستعد سیل می توان تمهیدات لازم مانند جابجایی، ایمن سازی و سایر موارد را در جهت بالا بردن ضریب آسیب پذیری از سیل را بالا برده و حتی برای سیل های با دوره برگشت بیشتر نیز آماده شد. برخی کشورها مانند کشور کووالامپور که همیشه شاهد سیل و بارش های سنگینی می باشند با ایجاد تمهیداتی مانند احداث تونل های مدیریت آب طوفان و تونل جاده ای (تونل SMART)¹ و یا کانال های خروج سیلاب از میزان خسارت ناشی از سیل کاسته اند.

1. Stormwater Management And Road Tunnel (SMART Tunnel)

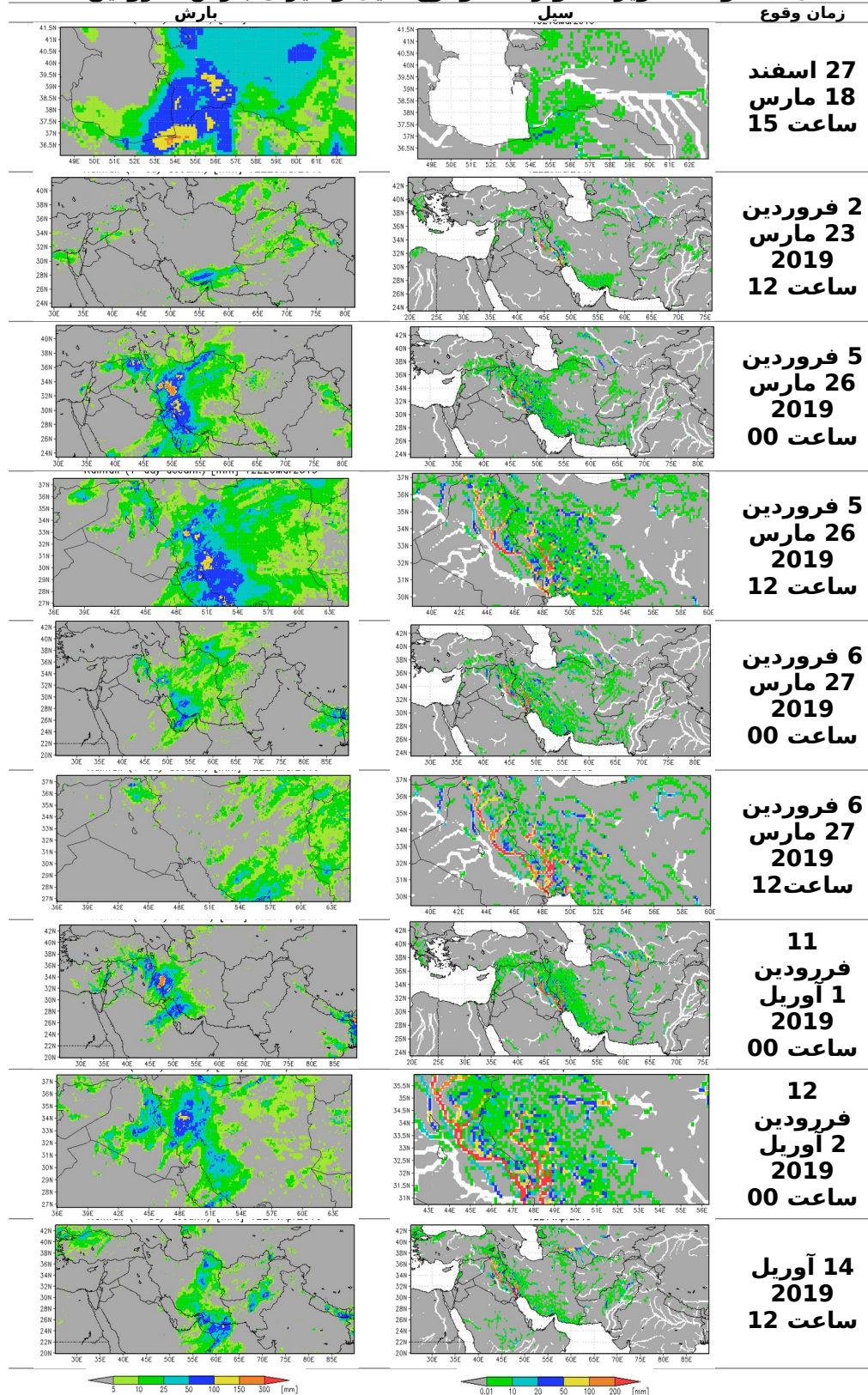


دومین همایش ملی راهبردهای مدیریت منابع آب و چالشهای زیست
محیطی
ساری- 30 دی 1399



دانشگاه علوم کشاورزی
و منابع طبیعی ساری

شکل 3: نمونه تصاویر ماهواره ای وقوع سیل و میزان بارش (فروردین 1398)



مراجع



- پژوهشکده اقلیم شناسی (1398)، "تحلیل همدیدی (سینوپتیکی) بارش های سیل آسای دهه اول فروردین (1398) نیمه دوم مارس 2019"، گزارش گروه پژوهشی تغییر اقلیم، پژوهشکده اقلیم شناسی، مشهد.
- علیرضا مقدم نیا کنترل سیل، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
- مهدی یاسی 1398، مسایل آب کشور- دانشگاه تهران

- <http://flood.umd.edu>
- https://data.giss.nasa.gov/cgi-bin/gistemp/stddata_show_v4.cgi?id=IR000040848&ds=14&dt=1
- <https://chrsdata.eng.uci.edu/>
- http://www.bom.gov.au/jsp/ncc/cdio/weatherData/av?p_nccObsCode=139&p_display_type=dataFile&p_startYear=&p_c=&p_stn_num=40788
- https://www.climate-service-center.de/products_and_publications/maps_visualisation/csm_global/index.php.en
- <https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.PRCP.MM?locations=NG>
- https://www.meteoblue.com/en/products/historyplus/download/b%5%abkand_iran
- NSW (Government action on climate change) Department of Environment, Climate Change and Water (DECCW). (December 2010), "Impacts of climate change (Floods and Storms)" Earthquake Engineering Research Lab., Report EERL 70-01, California Institute of Technology, Pasadena California.
- CSIRO, Australian Bureau of Meteorology (2007). Climate change in Australia: technical report 2007, CSIRO.
- Department of Environment, Climate Change and Water (2010). NSW Climate Impact Profile: the impacts of climate change on the biophysical environment of New South Wales, Department of Environment, Climate Change and Water, Sydney South, NSW.
- EMA (2009). Emergency Management Australia disasters database, accessed July 2009,
- http://www.ema.gov.au/www/emaweb/emaweb.nsf/Page/ResourcesDisasters_Database
- IPCC (2007). Climate change 2007: the physical science basis, contributions of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S, Qin, D. Manning, M, Chen, Z,
- Marquis, M, Averyt, KB, Tignor, M and Miller, HL (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Price, C and Rind, D (1992). 'A simple lightning parameterization for calculating global lightning distributions', Journal of Geophysical Research, vol. 97 (1992), pp. 9919-9933.
- Huffman, G.J., R.F. Adler, D.T. Bolvin, E.J. Nelkin, 2010: The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA). Chapter 1 in Satellite Applications for Surface Hydrology, F. Hossain and M. Gebremichael, Eds. Springer Verlag, ISBN: 978-90-481-2914-0, 3-22.
- Liang, X., D. P. Lettenmaier, E. F. Wood, and S. J. Burges, 1994: A Simple hydrologically Based Model of Land Surface Water and Energy Fluxes for GSMs, J. Geophys. Res., 99(D7), 14,415-14,428.
- Wu, H., R. F. Adler, Y. Tian, G. J. Huffman, H. Li, and J. Wang (2014), Real-time global flood estimation using satellite-based precipitation and a coupled land surface and routing model, Water Resour. Res., 50, 2693.2717, doi:10.1002/2013WR014710.
- Wu H., R. F. Adler, Y. Hong, Y. Tian, and F. Policelli (2012), Evaluation of Global Flood Detection Using Satellite-Based Rainfall and a Hydrologic Model. J. Hydrometeor., 13, 1268.1284.
- Wu H., J. S. Kimball, H. Li, M. Huang, L. R. Leung, R. F. Adler (2012), A new global river network database for macroscale hydrologic modeling, Water Resour. Res., 48, W09701, doi:10.1029/2012WR012313.
- Wu, H., J. S. Kimball, N. Mantua, and J. Stanford (2011), Automated upscaling of river networks for macroscale hydrological modeling, Water Resour. Res., 47, W03517, doi:10.1029/2009WR008871.